



**Sónia Maria Monteiro
da Silva Antunes**

**Avaliação do Ambiente sonoro em zonas urbanas.
Integração de aspectos qualitativos**



**Sónia Maria Monteiro
da Silva Antunes**

**Avaliação do Ambiente sonoro em zonas urbanas.
Integração de aspectos qualitativos**

Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil e apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Ciências e Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor António José Barbosa Samagaio, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e do Doutor Jorge Viçoso Patrício, Investigador Principal com Agregação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no âmbito do contrato de parceria entre a UA e o LNEC.

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha irmã

o júri

presidente

Prof. Doutora Maria Ana Dias Monteiro Santos
professora catedrática da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Pedro Miguel Ferreira Martins Arezes
professor associado da Escola de Engenharia da Universidade do Minho

Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Jorge Viçoso Patrício
investigador principal com agregação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Prof. Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues
professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Mário Miguel Azevedo Cerqueira
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

À Direcção do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, por terem permitido a realização deste trabalho e disponibilizado as condições essenciais à condução deste estudo.

A todos os meus colegas do LNEC, que me acompanharam durante estes últimos anos na realização deste trabalho. Um especial obrigado ao Srs. Fernando Mateus e José Carvalho.

A todos os meus amigos que me acompanharam durante a fase de elaboração deste documento, e um especial agradecimento à amiga Ana Falcão que me acompanhou e viabilizou as muitas visitas à Cidade do Porto.

Os meus sinceros agradecimentos aos orientadores da dissertação, Professor Samagaio, e Doutor Engenheiro Jorge Patrício, pelo apoio e estímulo transmitido durante a realização deste trabalho. O meu agradecimento muito especial à Doutora Maria Margarida Rebelo, psicóloga ambiental do LNEC, pelo seu envolvimento e apoio.

Na impossibilidade de referir todos quantos de forma desinteressada, me prestaram algum do seu tempo e esforço, particularmente na resposta aos diferentes inquéritos, na prestação de entrevistas, e cedência de dados, de modo a possibilitar a concretização de todo o trabalho, apresento de forma impessoal o meu apreço e devido reconhecimento.

palavras-chave

Ruído, Percepção sonora, Acústica Ambiental.

resumo

O presente trabalho propõe-se integrar a percepção que os indivíduos fazem das medidas de minimização de ruído, utilizadas em Portugal, na avaliação do ambiente sonoro em zonas urbanas. O trabalho é composto por um estudo sobre a avaliação da estrutura cognitiva (atitude) dos indivíduos, nomeadamente o significado que eles atribuem ao ruído de tráfego urbano, pela avaliação acústica e psicoacustica de várias medidas de minimização de ruído utilizadas em Portugal, e por um inquérito sócio acústico que pretende relacionar ambos os aspectos referidos. Pela análise dos estudos desenvolvidos, é elaborada uma metodologia para a integração de aspectos qualitativos (percepção humana), na avaliação do ambiente sonoro.

keywords

Noise, Sound Perception, Environmental Acoustics.

abstract

The present work intends to integrate in the evaluation of the sonic environment in urban areas, the human perception of the noise mitigation measures, used in Portugal. The work is composed by a study about the evaluation of the individuals' cognitive structure (attitude), namely the meaning that they attribute to the road traffic noise in urban areas, by an acoustic and psychoacoustics evaluation of several noise mitigation measures used in Portugal, and by a social survey relating the above aspects referred. By the analyses of the developed studies, a methodology was developed for the integration of qualitative (human perception), in the evaluation of the sound environmental.

Índice

ÍNDICE DO TEXTO

Capítulo 1: Introdução	1.1
1.1 Considerações gerais	1.1
1.2 Enquadramento do tema	1.3
1.3 Objectivos do estudo	1.6
1.4 Estudos desenvolvidos	1.7
1.5 Organização da dissertação	1.8
 Capítulo 2: Aspectos Gerais de psicoacústica	 2.1
2.1 Considerações Gerais	2.1
2.2 Princípios fundamentais da audição humana	2.3
2.2.1 Anatomia do ouvido humano	2.3
2.2.2 O mecanismo da audição	2.6
2.2.3 Propriedades fundamentais do ouvido humano	2.9
2.2.3.1 Limiares de audição e curvas de igual sensação auditiva	2.9
2.2.3.2 Mascaramento	2.11
2.2.3.3 Banda Crítica	2.12
2.3 Parâmetros utilizados na caracterização da sensação sonora	2.14
2.3.1 Parâmetros acústicos	2.14
2.3.1.1 Nível de pressão sonora	2.14
2.3.1.2 Ponderação em frequência	2.15
2.3.1.3 Nível sonoro contínuo equivalente	2.17
2.3.2 Parâmetros psicoacústicos	2.18
2.3.2.1 Sensação de intensidade auditiva	2.18
2.3.2.2 Altura de um som (pitch) e timbre	2.21
2.3.2.3 Agudeza	2.22
2.3.2.4 Força de flutuação	2.23
2.3.2.5 Rugosidade	2.25
2.3.4 Caracterização de sons com características tonais	2.25
2.3.5 Indicadores compostos	2.27
2.3.5.1 Incomodidade sensorial (<i>unbiased annoyance</i>)	2.28
2.3.5.2 Incomodidade psicoacustica	2.29
2.3.5.3 Agradabilidade sensorial (<i>Plesanteress</i>)	2.30
2.4 Dimensões da audição	2.31
2.5 Métodos de apresentação de sons aplicados em psicoacústica	2.33
2.6 Aplicações da psicoacustica	2.40
 Capítulo 3: Avaliação do ambiente sonoro em zonas urbanas	 3.1
3.1 Caracterização do ruído urbano	3.1
3.1.1 Introdução	3.1
3.1.2 Micro modelos para a emissão e propagação sonoras	3.3
3.1.3 Macro modelos para a emissão e propagação sonoras	3.8
3.1.3.1 Modelo de propagação sonora estabelecido na norma internacional ISO 9613-2	3.8
3.1.3.2 Modelo de emissão sonora para o ruído de tráfego rodoviário, estabelecido na norma francesa XP S 31-133	3.11
3.1.3.3 Modelos de emissão sonora para ruído de tráfego rodoviário e de propagação sonora, estabelecidos no método Nord 2000 e nos projectos europeus HARMONOISE e IMAGINE	3.17

3.2	Representação espacial dos níveis sonoros	3.23
3.3	Medidas de minimização do ruído de tráfego rodoviário em zonas urbanas	3.25
3.3.1	Introdução	3.25
3.3.2	Pavimentos com características absorventes sonoras	3.29
3.3.2.1	Síntese das experiências em alguns países europeus	3.37
3.3.3	Barreiras acústicas	3.41
3.3.4	Redução da velocidade de circulação dos veículos	3.49
3.3.5	Isolamento sonoro de fachadas	3.50
3.3.6	Efeitos de combinação de diferentes medidas de minimização	3.54
3.4	Efeitos do ruído	3.56
3.4.1	Introdução	3.56
3.4.2	Caracterização dos principais efeitos adversos do ruído	3.57
3.4.3	Incomodidade	3.59
3.5	Caracterização da paisagem sonora	3.67
3.5.1	Introdução	3.67
3.5.2	Síntese dos estudos desenvolvidos	3.69
3.5.3	Metodologias para a caracterização da paisagem sonora	3.75
Capítulo 4:	Caracterização dos estudos de caso	4.1
4.1	Introdução	4.1
4.2	Locais de estudo na VCI	4.3
4.2.1	Introdução	4.3
4.2.2	Caracterização dos locais seleccionados	4.3
4.2.2.1	Local 1 – Condomínio de São José (freguesia de Lourelo de Ouro)	4.3
4.2.2.2	Local 2 – Bairro Social de Bessa Leite	4.8
4.2.2.3	Local 3 – Bairro do Foco	4.11
4.2.2.4	Local 4 – Condomínios de São João Bosco e Andrezas	4.15
4.2.2.5	Local 5 – Bairro Cooperativa da Prelada	4.19
4.2.2.6	Local 6 – Bairro Central de Francos	4.23
4.2.2.7	Síntese da caracterização dos locais de estudo	4.28
4.3	Medidas de minimização existentes e preconizadas	4.30
4.3.1	Medidas de minimização de ruído existentes na VCI	4.30
4.3.2	Medidas preconizadas nos estudos de impacte ambiental	4.30
4.4	Inquéritos piloto efectuados	4.32
4.4.1	Estruturação do guião da entrevista piloto	4.32
4.4.2	Estruturação do questionário	4.33
4.4.3	Percepção do ambiente sonoro pelos residentes próximo da VCI	4.34
Capítulo 5:	Desenvolvimento de um inquérito para a avaliação da percepção de medidas de minimização de ruído	5.1
5.1	Introdução	5.1
5.2	Avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de tráfego presentes em zonas urbanas	5.2
5.2.1	Introdução	5.2
5.2.2	Caracterização física e psicoacústica dos estímulos sonoros seleccionados	5.4
5.2.3	Síntese da caracterização física e psicoacústica dos estímulos sonoros	5.42
5.2.4	Metodologia para a selecção dos adjectivos descritores para as fontes sonoras	5.44
5.2.5	Metodologia e estrutura do inquérito	5.44

5.3 Desenvolvimento de um inquérito para a avaliação da percepção de medidas de minimização de ruído	5.46
5.3.1 Introdução	5.46
5.3.2 Caracterização física e psicoacústica das medidas de minimização	5.48
5.3.2.1 Barreiras Acústicas	5.49
5.3.2.2 Pavimentos	5.59
5.3.2.3 Síntese da caracterização física e psicoacústica dos estímulos relativos às medidas de minimização	5.72
5.3.3 Inquérito sócio-acústico para avaliação das medidas de minimização	5.73
5.3.3.1 Introdução	5.73
5.3.3.2 Metodologia e estrutura do inquérito sócio-acústico	5.74
Capítulo 6: Análise dos resultados – Integração de aspectos qualitativos	6.1
6.1 Noções gerais	6.1
6.2 Avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de ruído de tráfego presentes em zonas urbanas	6.2
6.2.1 Introdução	6.2
6.2.2 Resultados obtidos	6.3
6.2.3 Tratamento estatístico	6.13
6.2.4 Associação entre parâmetros físicos e os dados de percepção	6.25
6.2.5 Discussão e considerações finais	6.42
6.3 Inquérito para a avaliação da percepção de medidas de minimização de ruído	6.45
6.3.1 Introdução	6.45
6.3.2 Caracterização sócio-demográfica da amostra	6.46
6.3.3 Características do edificado e respectiva exposição sonora	6.54
6.3.4 Percepção do ruído	6.65
6.3.5 Atitudes e efeitos do ruído	6.71
6.3.6 Medidas de minimização	6.73
6.3.7 Associação entre parâmetros físicos e os dados de percepção	6.83
6.3.8 Discussão e considerações finais	6.89
Capítulo 7: Conclusões e perspectivas futuras	7.1
7.1 Considerações finais	7.1
7.2 Aspectos conclusivos	7.5
7.3 Perspectivas de desenvolvimento futuro	7.7

Bibliografia

Anexos

- Anexo I Ortofotos dos locais de estudo ao longo da VCI
- Anexo II Caracterização do ambiente sonoro nos locais de estudo
- Anexo III Guião da entrevista e inquérito piloto
- Anexo IV Transcrições de entrevistas do inquérito piloto
- Anexo V Caracterização física e psicoacústica dos estímulos sonoros utilizados na avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de ruído de tráfego
- Anexo VI Caracterização física e psicoacústica das medidas de minimização de ruído

Anexo VII Carta de apresentação e questionário para a avaliação da percepção de medidas de minimização de ruído

Anexo VIII Percepção dos residentes relativamente à colocação de topos difractores em barreiras acústicas

Anexo IX Valores modais

Anexo X Glossário dos termos utilizados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – O ouvido humano	2.4
Figura 2.2 – Representação esquemática do ouvido interno	2.5
Figura 2.3 – Pontos de deslocamento máximo da membrana basilar em função da frequência	2.8
Figura 2.4 - Curvas de igual sensação auditiva e campo audível mínimo	2.11
Figura 2.5 – Largura de bandas críticas	2.13
Figura 3.1 – Representação esquemática do modelo Francês para o cálculo do ruído de tráfego rodoviário	3.16
Figura 3.2 - Resultados obtidos por Donovan em diversos tipos de pavimento; as barras a cor azul, amarela e vermelha correspondem respectivamente a pavimentos existentes na Europa, na Califórnia e no Arizona	3.36
Figura 3.3 - Níveis sonoros para veículos ligeiros, em diferentes tipos de pavimento rodoviários e para velocidades de circulação de 110 km/h	3.41
Figura 3.4 - Níveis sonoros para veículos pesados, em diferentes tipos de pavimento rodoviários, para velocidades de circulação de 85 km/h	3.41
Figura 3.5 – Efeitos da interposição de uma barreira entre a fonte sonora e o receptor	3.42
Figura 3.6 – Resultados experimentais comparativos do desempenho de diferentes bordos difractores	3.46
Figura 3.7 – Índice de isolamento sonoro em função da espessura de um pano envidraçado, para incidência difusa e para ângulos de incidência de 45°	3.52
Figura 3.8 – Índice de isolamento sonoro de vidros duplos, em função da espessura total do envidraçado e do espaçamento entre vidros	3.53
Figura 3.9– Resultados das medições da passagem estatística de veículos, obtidos por Peyrard, com e sem a barreira	3.55
Figura 3.10– Efeitos do ruído	3.59
Figura 3.11 – Relações exposição – efeito para o tráfego ferroviário	3.61
Figura 3.12 – Relações exposição – efeito para o tráfego rodoviário	3.61
Figura 3.13 – Relações exposição – efeito para o tráfego aéreo	3.62
Figura 3.14 – Esquema do modelo geral do impacto do ruído	3.63
Figura 3.15 – Representação esquemática das relações entre os elementos no modelo de incomodidade “Genlyd”	3.65
Figura 3.16 – Modelo para a descrição da paisagem sonora num espaço urbano (praça)	3.73
Figura 4.1 – Ortofotomapa das zonas de estudo designadas por Local 1 e Local 2	4.4
Figura 4.2 – Fotografias (a) do local 1 e (b) do Local 2, retiradas do Google Earth 5, em 2010-10-03	4.5
Figura 4.3 – O Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 14.7	4.5

Figura 4.4 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> , por banda crítica, no Local 1	4.6
Figura 4.5 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total, em função do tempo, no Local 1	4.6
Figura 4.6 – Espectro da <i>agudeza</i> , em função do tempo, no Local 1	4.7
Figura 4.7 – Espectro da <i>rugosidade</i> , por banda crítica, no Local 1	4.7
Figura 4.8 – Espectro da <i>rugosidade</i> , em função do tempo, no Local 1	4.8
Figura 4.9 – Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 2m	4.9
Figura 4.10 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> , por banda crítica, no Local 2	4.9
Figura 4.11 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total, em função do tempo, no Local 2	4.10
Figura 4.12 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo, no Local 2	4.10
Figura 4.13 – Espectro da <i>rugosidade</i> por banda crítica, no Local 2	4.11
Figura 4.14 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo, no Local 2	4.11
Figura 4.15 – Ortofotomapa das zonas de estudo designada por Local 3 (fotografia retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03)	4.12
Figura 4.16 – Fotografias do Local 3, (a) zona próximo da av. da Boavista, e (b) zona do Foco, retiradas do Google Earth 5, em 2010-10-03)	4.12
Figura 4.17 – Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 3	4.13
Figura 4.18 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> , por banda crítica, no Local 3	4.13
Figura 4.19 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total, em função do tempo, no Local 3	4.14
Figura 4.20 – Espectro da <i>agudeza</i> , em função do tempo, no Local 3	4.14
Figura 4.21 – Espectro da <i>rugosidade</i> por banda crítica, no Local 3	4.15
Figura 4.22 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo, no Local 3	4.15
Figura 4.23 – Ortofotomapa das zonas de estudo designada por Local 4 (fotografia retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03)	4.16
Figura 4.24 – Fotografias do Local 4, zona próximo do Condomínio de São João Bosco (fotografia da esquerda), e zona do Condomínio das Andrezas, (fotografia da direita), retiradas do Google Earth 5, em 2010-10-03)	4.16
Figura 4.25 – Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 4	4.17
Figura 4.26 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> , por banda crítica, no Local 4	4.17
Figura 4.27 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total, em função do tempo, no Local 4	4.18
Figura 4.28 – Espectro da <i>agudeza</i> , em função do tempo, no Local 4	4.18
Figura 4.29 – Espectro da <i>rugosidade</i> , por banda crítica, no Local 4	4.19
Figura 4.30 – Espectro da <i>rugosidade</i> , em função do tempo, no Local 4	4.19
Figura 4.31 – Ortofotomapa das zonas de estudo designada por Local 5 (fotografia retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03)	4.20

Figura 4.32 – Fotografias do Local 5, (a) Vista da VCI e (b) pormenor do edificado, retiradas do Google Earth 5, em 2010-10-03	4.20
Figura 4.33 – Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 5	4.21
Figura 4.34 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> , por banda crítica, no Local 5	4.21
Figura 4.35 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total, em função do tempo, no Local 5	4.22
Figura 4.36 – Espectro da <i>agudeza</i> , em função do tempo, no Local 5	4.22
Figura 4.37 – Espectro da <i>rugosidade</i> por banda crítica, no Local 5	4.23
Figura 4.38 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo, no Local 5	4.23
Figura 4.39 – Ortofotomapa das zonas de estudo designada por Local 6 (fotografia retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03)	4.24
Figura 4.40 – (a) Fachadas viradas para a VCI no Local 6 (fotografia da esquerda retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03) e (b) detalhe das respectivas fachadas	4.25
Figura 4.41 – Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 6	4.25
Figura 4.42 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> , por banda crítica, no Local 6	4.26
Figura 4.43 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total, em função do tempo, no Local 6	4.26
Figura 4.44 – Espectro da <i>agudeza</i> , em função do tempo, no Local 6	4.27
Figura 4.45 – Espectro da <i>rugosidade</i> , por banda crítica, no Local 6	4.27
Figura 4.46 – Espectro da <i>rugosidade</i> , em função do tempo, no Local 6	4.28
Figura 5.1 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 1 (Passagem de autocarro)	5.5
Figura 5.2 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 1 (Passagem de autocarro)	5.5
Figura 5.3 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 1 (Passagem de autocarro)	5.6
Figura 5.4 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 1 (Passagem de autocarro)	5.6
Figura 5.5 – Espectro da <i>rugosidade</i> por banda crítica do Som 1 (Passagem de autocarro)	5.6
Figura 5.6 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 1 (Passagem de autocarro)	5.7
Figura 5.7 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 2 (Passagem de um avião)	5.7
Figura 5.8 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 2 (Passagem de um avião)	5.8
Figura 5.9 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 2 (Passagem de um avião)	5.8
Figura 5.10 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 2 (Passagem de um avião)	5.9
Figura 5.11 – Espectro da <i>rugosidade</i> por banda crítica do Som 2 (Passagem de um avião)	5.9
Figura 5.12 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 2 (Passagem de um avião)	5.10
Figura 5.13 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 3 (Passagem de um comboio)	5.10

Figura 5.14 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 3 (Passagem de um comboio)	5.11
Figura 5.15 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 3 (Passagem de um comboio)	5.11
Figura 5.16 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 3 (Passagem de um comboio)	5.12
Figura 5.17 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função da banda crítica do Som 3 (Passagem de um comboio)	5.12
Figura 5.18 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 3 (Passagem de um comboio)	5.12
Figura 5.19 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)	5.13
Figura 5.20 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)	5.14
Figura 5.21 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)	5.14
Figura 5.22 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)	5.15
Figura 5.23 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função da banda crítica do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)	5.15
Figura 5.24 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)	5.16
Figura 5.25 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)	5.16
Figura 5.26 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)	5.17
Figura 5.27 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)	5.17
Figura 5.28 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)	5.18
Figura 5.29 – Espectro da <i>rugosidade</i> por banda crítica do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)	5.18
Figura 5.30 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)	5.19
Figura 5.31 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)	5.20
Figura 5.32 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)	5.20
Figura 5.33 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)	5.21
Figura 5.34 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)	5.21
Figura 5.35 – Espectro da <i>rugosidade</i> por banda crítica do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)	5.22
Figura 5.36 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)	5.22
Figura 5.37 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 7 (Passagem de motociclo ruído de escape significativo)	5.23
Figura 5.38 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 7 (Passagem de motociclo com ruído de escape significativo)	5.23

Figura 5.39 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 7 (Passagem de motociclo com ruído de escape ruído de escape significativo)	5.24
Figura 5.40 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 7 (Passagem de motociclo com ruído de escape ruído de escape significativo)	5.24
Figura 5.41 – Espectro da <i>rugosidade</i> por banda crítica do Som 7 (Passagem de motociclo com ruído de escape ruído de escape significativo)	5.25
Figura 5.42 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 7 (Passagem de motociclo com ruído de escape ruído de escape significativo)	5.25
Figura 5.43 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2 ^a circular)	5.26
Figura 5.44 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2 ^a circular)	5.26
Figura 5.45 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2 ^a circular)	5.27
Figura 5.46 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2 ^a circular)	5.27
Figura 5.47 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função da banda crítica do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2 ^a circular)	5.28
Figura 5.48 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2 ^a circular)	5.28
Figura 5.49 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 9 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)	5.29
Figura 5.50 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 10 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)	5.29
Figura 5.51 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 10 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)	5.30
Figura 5.52 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 10 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)	5.30
Figura 5.53 – Espectro da <i>rugosidade</i> por banda crítica do Som 10 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)	5.31
Figura 5.54 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 10 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)	5.31
Figura 5.55 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 10 (Passagem do metro do Porto)	5.32
Figura 5.56 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 10 (Passagem do metro do Porto)	5.32
Figura 5.57 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 10 (Passagem do metro do Porto)	5.33
Figura 5.58 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 10 (Passagem do metro do Porto)	5.33
Figura 5.59 – Espectro da <i>rugosidade</i> por banda crítica do Som 10 (Passagem do metro do Porto)	5.34
Figura 5.60 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 10 (Passagem do metro do Porto)	5.34
Figura 5.61 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 11 (Passagem de um eléctrico moderno)	5.35
Figura 5.62 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 11 (Passagem de um eléctrico moderno)	5.35

Figura 5.63 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 11 – Passagem de um eléctrico moderno	5.36
Figura 5.64 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 11 (Passagem de um eléctrico moderno)	5.36
Figura 5.65 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função da banda crítica do Som 11 (Passagem de um eléctrico moderno)	5.37
Figura 5.66 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 11 (Passagem de um eléctrico moderno)	5.37
Figura 5.67 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 12 (Passagem de motociclo)	5.38
Figura 5.68 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 12 (Passagem de motociclo)	5.38
Figura 5.69 – Espectro da <i>sensação intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 12 (Passagem de motociclo)	5.39
Figura 5.70 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 12 (Passagem de motociclo)	5.39
Figura 5.71 – Espectro da <i>agudeza</i> por banda crítica em função do tempo do Som 12 (Passagem de motociclo)	5.40
Figura 5.72 – Espectro da <i>rugosidade</i> em função do tempo do Som 12 (Passagem de motociclo)	5.40
Figura 5.73 – Diapositivo de apresentação dos 12 sons aos inquiridos	5.45
Figura 5.74 – Pares de adjectivos antónimos utilizados na escala do diferencial semântico	5.46
Figura 5.75 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 1 (Barreiras)	5.49
Figura 5.76 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 1 (Barreiras)	5.50
Figura 5.77 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 1 (Barreiras)	5.50
Figura 5.78 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 1 (Barreiras)	5.51
Figura 5.79 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 2 – Barreiras	5.51
Figura 5.80 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 2 (Barreiras)	5.52
Figura 5.81 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 2 (Barreiras)	5.52
Figura 5.82 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 2 (Barreiras)	5.53
Figura 5.84 – Fotografias das barreiras acústicas	5.53
Figura 5.83 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 3 (Barreiras)	5.53
Figura 5.84 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 3 (Barreiras)	5.54
Figura 5.85 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 3 (Barreiras)	5.54
Figura 5.86 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 3 (Barreiras)	5.55
Figura 5.87 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 4 (Barreiras)	5.55
Figura 5.88 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica do Som 4 (Barreiras)	5.56
Figura 5.89 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total em função do tempo do Som 4 (Barreiras)	5.56
Figura 5.90 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo do Som 4 (Barreiras)	5.57

Figura 5.91 – Espectro de bandas de terço de oitava, comparação entre sons (Som A)	5.58
Figura 5.92 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, comparação entre sons (Som A)	5.58
Figura 5.93 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> em função do tempo, comparação entre sons (Som A)	5.59
Figura 5.94 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo, comparação entre sons (Som A)	5.59
Figura 5.95 – Espectro de bandas de terço de oitava de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso denso (velocidade de 80 km/h)	5.60
Figura 5.96 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso denso (velocidade de 80 km/h)	5.60
Figura 5.97 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso denso (velocidade de 80 km/h)	5.61
Figura 5.98 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso denso (velocidade de 80 km/h)	5.61
Figura 5.99 – Espectro de bandas de terço de oitava de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso rugoso (velocidade de 80 km/h)	5.62
Figura 5.100 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso rugoso (velocidade de 80 km/h)	5.62
Figura 5.101- Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso rugoso (velocidade de 80 km/h)	5.63
Figura 5.102 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso rugoso (velocidade de 80 km/h)	5.63
Figura 5.103 – Espectro de bandas de terço de oitava de três passagens de um veículo num pavimento em microbetão betuminoso (velocidade de 80 km/h)	5.64
Figura 5.104 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, de três passagens de um veículo num pavimento em microbetão betuminoso (velocidade de 80 km/h)	5.64
Figura 5.105 - Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total, de três passagens de um veículo num pavimento em microbetão betuminoso (velocidade de 80 km/h)	5.65
Figura 5.106 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento em microbetão betuminoso (velocidade de 80 km/h)	5.65
Figura 5.107 – Espectro de bandas de terço de oitava de três passagens de um veículo num pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa), velocidade de 80 km/h	5.66
Figura 5.108 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, de três passagens de um veículo num pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa), velocidade de 80 km/h	5.66
Figura 5.109 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total, de três passagens de um veículo num pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa), velocidade de 80 km/h	5.67
Figura 5.110 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa), velocidade de 80 km/h	5.67
Figura 5.111 – Espectro de bandas de terço de oitava de três passagens de um veículo num pavimento betuminoso drenante, velocidade de 80 km/h	5.68

Figura 5.112 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, de três passagens de um veículo num pavimento betuminoso drenante, velocidade de 80 km/h	5.68
Figura 5.113 – Espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> total em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento betuminoso drenante, velocidade de 80 km/h	5.69
Figura 5.114 – Espectro da <i>agudeza</i> em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento betuminoso drenante, velocidade de 80 km/h	5.69
Figura 5.115 – Níveis sonoros (ponderação linear, A, C e nível máximo), correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento betuminoso drenante, a diferentes velocidades	5.70
Figura 5.116 – Níveis sonoros (ponderação linear, A, C e nível máximo), correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento em betume modificado com borracha, a diferentes velocidades	5.70
Figura 5.117 – <i>Sensação de intensidade auditiva</i> e níveis percentis de 5%, 10% e 50%, correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento betuminoso drenante, a diferentes velocidades	5.71
Figura 5.118 – Parâmetros psicoacústicos (<i>agudeza</i> e <i>rugosidade</i>) correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento betuminoso drenante, a diferentes velocidades	5.71
Figura 5.119 – <i>Sensação de intensidade auditiva</i> e níveis percentis de 5%, 10% e 50%, correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento em betume modificado com borracha, a diferentes velocidades	5.71
Figura 5.120 – Parâmetros psicoacústicos (<i>agudeza</i> e <i>rugosidade</i>) correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento em betume modificado com borracha, a diferentes velocidades	5.72
Figura 5.121 – Fotografias das barreiras acústicas: (a) Barreira verde; (b) Barreira metálica; (c) Barreira transparente; (d) Barreira mista	5.79
Figura 5.122 – Diapositivos do inquérito: (a) e (f) apresentação das tarefas do inquérito; (b), (c), (d), (e) apresentação dos sons registados por detrás de barreiras acústicas; e (g) comparação com/sem barreira	5.82
Figura 5.123 – Diapositivos do inquérito: (a) dispositivo informativo; (b), (c), (d), (e) diapositivos para a avaliação da passagem do veículo ligeiro nos diferentes pavimentos rodoviários, com uma velocidade de 80 km/h. e (g) diapositivo para a avaliação da passagem do veículo, com velocidades distintas de circulação	5.83
Figura 6.1 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 1	6.5
Figura 6.2 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 2	6.6
Figura 6.3 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 3	6.6
Figura 6.4 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 4	6.7
Figura 6.5 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 5	6.8
Figura 6.6 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 6	6.9
Figura 6.7 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 7	6.9
Figura 6.8 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 8	6.10
Figura 6.9 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 9	6.10
Figura 6.10 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 10	6.11
Figura 6.11 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 11	6.12
Figura 6.12 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 12	6.12
Figura 6.13 – Perfil do diferencial semântico para cada um dos 12 sons	6.16

Figura 6.14 – Perfil do diferencial semântico para os sons de tráfego rodoviário (com duração superior a um minuto)	6.18
Figura 6.15 – Perfil do diferencial semântico para os sons de tráfego rodoviário (passagens de veículos)	6.21
Figura 6.16 – Perfil do diferencial semântico para os sons de tráfego ferroviário (passagens de veículos)	6.23
Figura 6.17 – Perfil do diferencial semântico para o som de tráfego aéreo	6.25
Figura 6.18 – Correlação entre a <i>sensação de intensidade auditiva</i> (a), a <i>agudeza</i> (b) e a classificação do par Aceitável-Inaceitável	6.26
Figura 6.19 – Correlação entre o (a) nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C e a classificação do par Aceitável-Inaceitável	6.26
Figura 6.20 – Correlação entre os níveis percentil de (a) 5% e (b) 10%, para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> e a classificação do par Aceitável-Inaceitável	6.27
Figura 6.21 – Correlação entre o nível percentil de 50% para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , e a classificação do par Aceitável-Inaceitável	6.27
Figura 6.22 – Correlação entre (a) a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , (b) o nível sonoro e a classificação do par Agradável-Desagradável	6.28
Figura 6.23 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C e a classificação do par Agradável-Desagradável	6.28
Figura 6.24 – Correlação entre os níveis percentil de 5% (Figura da esquerda) e 10% (Figura da direita) para a sensação de intensidade e a classificação do par Agradável-Desagradável	6.28
Figura 6.25 – Correlação entre o nível percentil de 50% para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , e a classificação do par Agradável-Desagradável	6.29
Figura 6.26 – Correlação entre (a) a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , (b) o nível sonoro ponderado A e a classificação do par Calmante-Irritante	6.30
Figura 6.27 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível percentil de 5% para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> e a classificação do par Calmante-Irritante	6.30
Figura 6.28 – Correlação entre os níveis percentil de (a) 10% e (b) de 50% para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> e a classificação do par Calmante-Irritante	6.30
Figura 6.29 – Correlação entre a <i>sensação de intensidade auditiva</i> (Figura da esquerda), o nível sonoro ponderado A (Figura da direita) e a classificação do par Cómodo-Incómodo	6.31
Figura 6.30 – Correlação entre o nível sonoro ponderado C (Figura da esquerda), o nível percentil de 5% para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> (Figura da direita) e a classificação do par Cómodo – Incómodo	6.31
Figura 6.31 – Correlação entre o nível percentil de 10% para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> e a classificação do par Cómodo -Incómodo	6.31
Figura 6.32 – Correlação entre (a) a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , (b) o nível sonoro e a classificação do par Suportável-Insuportável	6.32
Figura 6.33 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C, e a classificação do par Suportável-Insuportável	6.32
Figura 6.34 – Correlação entre (a) os níveis percentil de 5% e (b) 10%, para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , e a classificação do par Suportável-Insuportável	6.33

Figura 6.35 – Correlação entre o nível percentil de 50% para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> e a classificação do par Suportável-Insuportável	6.33
Figura 6.36 – Correlação entre os níveis percentil (a) de 5% e (b) 10%, para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , e a classificação do par Ameno-Ruidoso	6.34
Figura 6.37 – Correlação entre o nível sonoro ponderado A e a classificação do par Ameno-Ruidoso	6.34
Figura 6.38 – Correlação entre (a) a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , (b) a <i>agudeza</i> , e a classificação do par Fraco-Forte	6.35
Figura 6.39 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A e (b) o nível sonoro ponderado C, e a classificação do par Fraco-Forte	6.35
Figura 6.40 – Correlação entre (a) os níveis percentil de 5% e (b) 10%, para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> e a classificação do par Fraco-Forte	6.35
Figura 6.41 – Correlação entre os níveis percentil de 50% para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> e a classificação do par Fraco-Forte	6.36
Figura 6.42 – Correlação entre (a) a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , (b) a <i>agudeza</i> , e a classificação do par Baixo-Alto	6.36
Figura 6.43 – Correlação entre (a) o nível sonoro, (b) o nível sonoro ponderado A, e a classificação do par Baixo-Alto	6.37
Figura 6.44 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado C, (b) o nível percentil de 5%, para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> e a classificação do par Baixo-Alto	6.37
Figura 6.45 – Correlação entre (a) os níveis percentil de 10% e (b) 50% para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> e a classificação do par Baixo-Alto	6.38
Figura 6.46 – Correlação entre (a) a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , (b) o nível sonoro e a classificação do par Estridente-Abafado	6.38
Figura 6.47 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C, e a classificação do par Estridente-Abafado	6.39
Figura 6.48 – Correlação entre os níveis percentil de 5% (Figura da esquerda) e 10% (Figura da direita), para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , e a classificação do par Estridente-Abafado	6.39
Figura 6.49 – Correlação entre o nível percentil de 50%, para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , e a classificação do par Estridente-Abafado	6.39
Figura 6.50 – Correlação entre (a) a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , (b) a <i>agudeza</i> , e a classificação do par Suave-Áspero	6.40
Figura 6.51 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C, e a classificação do par Suave-Áspero	6.40
Figura 6.52 – Correlação entre (a) o nível sonoro, (b) o nível percentil de 5%, para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , e a classificação do par Suave- Áspero	6.40
Figura 6.53 – Correlação entre os níveis percentil de 10% (Figura da esquerda) e 50% (Figura da direita), para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , e a classificação do par Suave-Áspero	6.41
Figura 6.54 – Correlação entre (a) a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , (b) o nível sonoro, e a classificação do par Duro-Suave	6.41
Figura 6.55 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C, e a classificação do par Duro-Suave	6.42

Figura 6.56 – Correlação entre (a) os níveis percentil de 10% e (b) 50%, para a <i>sensação de intensidade auditiva</i> , e a classificação do par Duro-Suave	6.42
Figura 6.57 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o género dos inquiridos	6.47
Figura 6.58 – (a) Distribuição etária e (b) respectivo cruzamento com o género dos inquiridos (valores em percentagem)	6.47
Figura 6.59 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a distribuição etária dos inquiridos	6.48
Figura 6.60 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a escolaridade dos inquiridos	6.48
Figura 6.61 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a dimensão do agregado familiar	6.49
Figura 6.62 – Contexto sócio-habitacional dos inquiridos	6.50
Figura 6.63 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o contexto sócio-habitacional dos inquiridos	6.51
Figura 6.64 – Cruzamento entre o contexto sócio-habitacional e a ocupação (valores em percentagem) dos inquiridos	6.51
Figura 6.65 – Cruzamento entre o número de horas de permanência na residência e o contexto sócio-habitacional, durante os dias de semana, para o período da manhã (Figura da esquerda) e para o período da tarde (Figura da direita)	6.52
Figura 6.66 – Cruzamento entre o número de horas de permanência na residência e o contexto sócio-habitacional, durante os dias de semana, para o período nocturno	6.52
Figura 6.67 – Cruzamento entre o grau de incomodidade médio (numérico e etiqueta) e a permanência na residência (durante a semana)	6.53
Figura 6.68 – Cruzamento entre o número de horas de permanência na residência e o contexto sócio-habitacional durante os fins de dias de semana, (a) para o período da manhã e (b) para o período da tarde	6.53
Figura 6.69 – Cruzamento entre o número de horas de permanência na residência e o contexto sócio-habitacional durante o fim-de-semana, para o período nocturno	6.53
Figura 6.70 – Cruzamento entre o grau de incomodidade médio (escalas numéricas e de etiqueta) e a permanência na residência (durante o fim-de- semana)	6.54
Figura 6.71 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o tempo de residência na habitação	6.55
Figura 6.72 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a distribuição dos inquiridos em função do andar da sua residência	6.56
Figura 6.73 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a distribuição da distância da sua residência à VCI	6.56
Figura 6.74 – Orientação das residências dos inquiridos relativamente à VCI, e distribuição sócio-demográfica referente aos edifícios com a fachada principal paralela à VCI	6.57
Figura 6.75 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a orientação das residências dos inquiridos relativamente à VCI	6.57

Figura 6.76 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a orientação dos quartos dos inquiridos relativamente à VCI _____ 6.58

Figura 6.77 – Tipo de fachada das residências dos inquiridos em função da estrutura sócio-habitacional _____ 6.58

Figura 6.78 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o tipo de envidraçado e de janelas das residências dos inquiridos _____ 6.59

Figura 6.79 – (a) Ambiente sonoro exterior e (b) ambiente sonoro no interior da residência dos inquiridos, em função da estrutura sócio-demográfica (nº de habitações em cada classe de nível sonoro) _____ 6.60

Figura 6.80 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o nível sonoro no exterior das residências dos inquiridos _____ 6.61

Figura 6.81 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o nível sonoro no interior das residências dos inquiridos _____ 6.61

Figura 6.82 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a estimativa do isolamento sonoro das residências dos inquiridos _____ 6.62

Figura 6.83 – Cruzamento entre a intenção de mudar de residência e a estrutura sócio-demográfica _____ 6.63

Figura 6.84 – Cruzamento entre a estrutura sócio-habitacional demográfica e a existência de problemas associados ao ruído do tráfego rodoviário da VCI _____ 6.63

Figura 6.85 – Cruzamento entre o nível sonoro no interior das residências dos inquiridos e a existência de problemas associados ao ruído de tráfego rodoviário da VCI _____ 6.64

Figura 6.86 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) em função da existência de problemas associados ao ruído do tráfego rodoviário da VCI _____ 6.64

Figura 6.87 – Cruzamento entre a agradabilidade para com a residência e a existência de problemas associados ao ruído do tráfego rodoviário da VCI (número de casos em função da agradabilidade para com a residência) _____ 6.65

Figura 6.88 – Respostas às questões sobre a sensibilidade ao ruído _____ 6.66

Figura 6.89 – Cruzamento entre o grau de sensibilidade ao ruído e o sexo dos inquiridos _____ 6.67

Figura 6.90 – Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) em função do grau de sensibilidade ao ruído dos inquiridos _____ 6.67

Figura 6.91 – Grau de incomodidade diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação em etiqueta) _____ 6.68

Figura 6.92 – Grau de incomodidade diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo classificação numérica) _____ 6.69

Figura 6.93 – Grau de incomodidade médio diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta) _____ 6.69

Figura 6.94 – Classificação da circulação de veículos, segundo o grau de incomodidade induzida pelo ruído _____ 6.70

Figura 6.95 – Classificação da situação de circulação, segundo o grau de incomodidade induzida pelo ruído _____ 6.70

Figura 6.96 – Principais efeitos do ruído apontados pelos inquiridos (valores em percentagem, uma vez que são respostas de escolha múltipla, o respectivo somatório é superior a 100%) _____ 6.71

Figura 6.97 – Atitudes dos inquiridos face ao ruído _____	6.73
Figura 6.98 – Grau de incomodidade médio diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função da atitude face ao ruído _____	6.73
Figura 6.99 – Grau de incomodidade médio diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função da concordância com a afirmação de que a introdução de uma barreira acústica irá melhorar a qualidade de vida _____	6.74
Figura 6.100 – Grau de incomodidade médio diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função da concordância com a afirmação de que a introdução de uma barreira acústica irá melhorar eliminar o ruído de tráfego rodoviário próximo da residência _____	6.75
Figura 6.101 – Grau de incomodidade médio diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função da concordância com a afirmação de que a uma barreira acústica, próximo de residências deve ter painéis transparentes _____	6.76
Figura 6.102 – Grau de incomodidade médio diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função da concordância com a afirmação de que é preferível a introdução de um pavimento com características absorventes sonoras à construção de uma barreira acústica, próximo das suas residências _____	6.77
Figura 6.103 – Grau de incomodidade médio diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função do que os inquiridos consideram ser a vantagem associada à introdução de uma barreira acústica _____	6.77
Figura 6.104 – Fotografias de barreiras acústicas apresentadas no questionário, (a) Fotografia 1 (barreira verde); (b) Fotografia 2 (barreira em painéis metálicos); (c) Fotografia 3 (barreira em acrílico) e (d) Fotografia 4 (barreira mista) _____	6.78
Figura 6.105 – Classificação das quatro fotografias de barreiras acústicas apresentadas aos inquiridos de acordo com a eficácia visual na atenuação ao ruído atribuída. Fotografia 1 (barreira verde); Fotografia 2 (barreira em painéis metálicos); Fotografia 3 (barreira em acrílico) e Fotografia 4 (barreira mista) _____	6.78
Figura 6.106 – Classificação das quatro fotografias de barreiras acústicas apresentadas aos inquiridos de acordo com o grau de preferência visual _____	6.79
Figura 6.107 – Classificação das quatro fotografias de barreiras acústicas, quando apresentadas simultaneamente com os registos áudio associados, de acordo com o grau de eficácia áudio visual _____	6.80
Figura 6.108 – Comparação entre o grau de preferência do som registado por detrás da barreira e o som registado sem a barreira _____	6.80
Figura 6.109 – Percentagem de redução do ruído de tráfego, conferida pela presença da barreira, em função do número de indivíduos que a reportaram _____	6.81
Figura 6.110 – Preferência expressa pelos indivíduos entre os pavimentos em teste (betão modificado com borracha; microbetão; drenante; e betão betuminoso rugoso) e o pavimento de betão betuminoso denso _____	6.82
Figura 6.111 – Preferência expressa pelos indivíduos para a velocidade de circulação de um veículo ligeiro, num pavimento de betão modificado de borracha (velocidade de passagem do veículo de 60 km/h e 100km/h); e num pavimento drenante (velocidade de passagem do veículo de 60 km/h, 80 km/h e 100km/h) _____	6.82
Figura 6.112 – Ordenação para a eficácia audiovisual (EAV) na apresentação simultânea da fotografia e registo áudio associado por detrás da barreira acústica, e do nível sonoro, ponderado A (SPLA), de cada registo áudio _____	6.83

Figura 6.113 – Ordenação para a eficácia audiovisual (EAV) na apresentação simultânea da fotografia e registo áudio associado por detrás da barreira acústica (escala entre a mais eficaz (1) até a menos eficaz (4)), e da sensação de intensidade, de cada registo áudio, ordenado desde o menor valor (1) até ao maior valor (4) _____ 6.84

Figura 6.114 – Ordenação para a eficácia audiovisual (EAV) na apresentação simultânea da fotografia e registo áudio associado por detrás da barreira acústica (escala entre a mais eficaz (1) até a menos eficaz (4)), e do percentil de 5%, para a sensação de intensidade, de cada registo áudio, ordenado desde o menor valor (1) até ao maior valor (4) _____ 6.85

Figura 6.115 – Ordenação para a eficácia audiovisual (EAV) na apresentação simultânea da fotografia e registo áudio associado por detrás da barreira acústica (escala entre a mais eficaz (1) até a menos eficaz (4)), e da agudeza, de cada registo áudio, ordenado desde o menor valor (1) até ao maior valor (4) ____ 6.85

Figura 6.116 – Ordenação para a preferência da passagem do mesmo veículo ligeiro em 4 pavimentos (betão modificado com borracha; microbetão; drenante; e betão betuminoso rugoso), escala, (1) mais agradável até (4) menos agradável, e do valor do nível sonoro, ponderado A, do registo áudio associado (escala, menor valor (1) até ao maior valor (4)) _____ 6.86

Figura 6.117 – Ordenação para a preferência da passagem do mesmo veículo ligeiro em 4 pavimentos (betão modificado com borracha; microbetão; drenante; e betão betuminoso rugoso), escala, mais agradável (1) até menos agradável (4), e do valor do nível sonoro, máximo, do registo áudio associado (escala, menor valor (1) até ao maior valor (4)) _____ 6.87

Figura 6.118 – Ordenação para a preferência da passagem do mesmo veículo ligeiro em 4 pavimentos (betão modificado com borracha; microbetão; drenante; e betão betuminoso rugoso) escala, mais agradável (1) até menos agradável (4), e da sensação de intensidade máxima associada a cada registo áudio, ordenada desde o menor valor (1) até ao maior valor (4) _____ 6.87

Figura 6.119 – Ordenação para a preferência da passagem do mesmo veículo ligeiro em 4 pavimentos (betão modificado com borracha; microbetão; drenante; e betão betuminoso rugoso) escala, mais agradável (1) até menos agradável (4), e da agudeza, do registo áudio associado (escala, desde o menor valor (1) até ao maior valor (4)) _____ 6.88

Figura 6.120 – Ordenação para a preferência da passagem do mesmo veículo ligeiro no pavimento drenante (velocidade de passagem do veículo de 60 km/h, 80 km/h e 100km/h) escala, mais agradável (1) até menos agradável (4), e a sensação de intensidade do registo áudio associado (escala, desde o menor valor (1) até ao maior valor (4)) _____ 6.89

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Exemplos de escalas de adjetivos antónimos	2.35
Tabela 3.1 – Correções para os pavimentos no modelo estabelecido na norma francesa XPS 31-133	3.13
Tabela 3.2 - Correções para a absorção do solo no modelo estabelecido na norma francesa XPS 31-133	3.15
Tabela 3.3 – Siglas utilizadas para designar os pavimentos nas figuras 3.3 e 3.4	3.40
Tabela 3.4 – Resultados obtidos nas simulações de Ishizuka [adaptado de Ishizuka e Fujiwara, 2004].	3.45
Tabela 3.5 – Opções de redução de velocidade implementados	3.49
Tabela 3.6 – Resultados obtidos nas experiências de Peyrard	3.55
Tabela 4.1 – Características dos locais de estudo	4.28
Quadro 5.1 – Níveis sonoros em dB(A), emitidos por cada auscultador	5.41
Tabela 5.2 – Síntese da caracterização dos estímulos sonoros	5.42
Tabela 5.3 – Síntese da caracterização das medidas de minimização	5.72
Tabela 5.4 – Entidades contactadas	5.75
Tabela 5.5 – Questões sobre a sensibilidade ao ruído (Questionário de <i>Weinstein</i>)	5.77
Tabela 5.6 – Estrutura do inquérito – Sons registados por detrás de barreiras	5.80
Tabela 5.7 – Estrutura do inquérito – Sequências de apresentação de diapositivos - Barreiras	5.80
Tabela 5.8 – Estrutura do inquérito – Comparação de sons registados com /sem barreira	5.80
Tabela 5.9 – Estrutura do inquérito – Comparação de sons de passagens de um veículo em diferentes pavimentos	5.81
Tabela 5.10 – Estrutura do inquérito – Sequências de apresentação de slides - Pavimentos	5.81
Tabela 6.1 – Valores modais para cada som do diferencial semântico	6.4
Tabela 6.2 – Análise de componentes principais: média dos 12 sons	6.15
Tabela 6.3 – Análise de componentes principais: sons de tráfego rodoviário (com duração)	6.17
Tabela 6.4 – Análise de componentes principais: sons de passagens de veículos	6.20
Tabela 6.5 – Análise de componentes principais: tráfego ferroviário	6.22
Tabela 6.6 – Análise de componentes principais: tráfego aéreo	6.24
Tabela 6.7 – Problemas de saúde referenciados pelos inquiridos	6.50
Tabela 6.8 – Distribuição dos inquiridos em função do andar da sua residência	6.55
Tabela 6.9 – Caracterização do ambiente sonoro no exterior e no interior das residências dos inquiridos e respectiva estimativa do isolamento sonoro	6.59
Tabela 6.10 – Avaliação de aspectos ligados à poluição derivada ao tráfego rodoviário da VCI	6.62
Tabela 6.11 – Razões apontadas pelos inquiridos para mudar de residência	6.63
Tabela 6.12 – Atitudes face ao ruído do tráfego rodoviário da VCI, apontadas pelos inquiridos	6.72

Capítulo 1: Introdução

1.1 Considerações gerais

Estima-se que 80% dos cidadãos europeus vivem em zonas urbanas, devendo, para a obtenção nestas zonas de uma elevada qualidade de vida, o ambiente ser considerado como um elemento essencial neste processo [CCE, 2004]. De entre os vários descritores ambientais, o ruído é uma das principais causas da degradação da qualidade do ambiente urbano, devido, em parte, ao facto de a sua presença poder ser imediatamente apercebida pelo ser humano e também poder facilmente ser conotada de incomodativa, ao contrário do que sucede, por exemplo, com alguns poluentes atmosféricos.

São inúmeras as fontes sonoras fixas ou móveis, temporárias ou de carácter permanente que influenciam o ambiente sonoro das zonas urbanas. No entanto, o ruído de tráfego rodoviário constitui a fonte de ruído mais generalizada e importante em áreas urbanas. Esta hipótese é sustentada, por um lado, nos resultados das medições dos níveis sonoros correspondentes e na incomodidade induzida pelo ruído de tráfego rodoviário, nos habitantes das zonas urbanas [Garcia, 2001]. Em segundo e terceiro lugar de importância, aparecem, respectivamente, o ruído de tráfego aéreo e de tráfego ferroviário. Outras fontes de ruído importantes para o ambiente sonoro em zonas urbanas são o ruído provocado pelo funcionamento das actividades industriais e o ruído provocado por trabalhos de construção civil, embora esta última fonte esteja mais irregularmente distribuída e tenha um carácter temporário. Finalmente, no espaço urbano existe uma grande variedade de outras fontes sonoras, decorrentes da actividade humana e geralmente caracterizadas pela sua natureza esporádica e singular, como por exemplo as sirenes das ambulâncias, os sinais sonoros provocados por sistema contra-intrusão e o ruído provocado por sistemas centralizados de ventilação de edifícios. Em consequência da elevada densidade populacional e complexidade da malha urbana, é nas grandes cidades que existe uma maior sensibilidade ao ruído, sendo que a coexistência de uma ocupação sensível e de actividades ruidosas, pode conduzir a uma situação de conflito entre os habitantes e a respectiva percepção do meio ambiente.

Tradicionalmente, a influência do ruído na qualidade de vida do ser humano foi estudada centrando-se nos efeitos negativos que este descritor ambiental provoca, designadamente a incomodidade e a perturbação do sono [Berglund e Lindvall, 1995]. Por iniciativa da União Europeia foram desenvolvidos estudos [Miedema *et al.*, 2001] no sentido de estabelecer relações entre a exposição ao ruído e incomodidade, para os diferentes modos de transportes. No entanto, ao confrontar as relações assim obtidas, com inquéritos sócio-acústicos, constata-se um nível de correlação muito baixo entre as duas variáveis. Este facto permite salientar a importância da influência de factores não-acústicos para a compreensão dos julgamentos e atitudes de cada indivíduo face ao ruído.

Um outro tipo de abordagens sobre o meio ambiente sonoro tem em conta que os espaços urbanos incluem uma combinação complexa de sons “agradáveis” e “desagradáveis”, dependendo a sua avaliação subjectiva não só da intensidade sonora correspondente, mas também do contexto em que são percebidos e dos significados sociais e culturais que lhe são atribuídos pelos indivíduos. Neste contexto, foi introduzida e desenvolvida por [Schafer, 1977] a noção de “paisagem sonora”, que traduz de um ponto de vista auditivo o ambiente urbano, de modo similar que a forma e as cores estão ligadas com a paisagem visual, colocando o receptor humano no seu centro.

Para a descrição da paisagem sonora de um espaço é necessário ter em conta diversos aspectos, entre os quais se salienta a caracterização das fontes sonoras presentes. Neste âmbito, deve considerar-se para cada fonte sonora, o nível de pressão sonora emitido, o seu espectro, as variações temporais (número de eventos, correspondente duração e eventual existência de características impulsivas), a sua localização e respectiva distância ao receptor, assim como o seu movimento. Também importante para esta descrição é a associação a cada fonte de determinadas características psicológicas e sociais que poderão modificar a percepção do som emitido, como, por exemplo, a sua natureza (som artificial e/ou som natural), e o significado que lhe é atribuído, assim como a sua relação com as actividades que são desenvolvidas nesse espaço.

Outros aspectos a ter em conta para a descrição da paisagem sonora são a morfologia do espaço urbano, uma vez que os elementos da paisagem e os elementos de fronteira (caso de edifícios) podem originar reflexões múltiplas das ondas sonoras, de modo a afectar a qualidade sonora de um determinado local, e a influência de elementos de

arquitectura como por exemplo a introdução de vegetação nas fachadas dos edifícios e no solo, de modo a aumentar o coeficiente de difusão do som incidente e reduzir os níveis de ruído.

Igualmente importantes na descrição da paisagem são os aspectos sociais, onde se podem incluir características como o grupo etário, local de residência, sexo, códigos sociais de vizinhança, o tipo de ambiente sonoro doméstico e laboral, assim como o modo e estilo de vida, critérios culturais em relação ao ruído e educação dos indivíduos. Finalmente, há que ter em conta a interacção entre aspectos visuais e auditivos na apreciação de paisagens sonoras. Alguns estudos efectuados [Viollon, 2000] constataram a dependência da apreciação dos registos sonoros com o tipo de urbanização presente numa imagem, verificando-se, para determinados sons, uma depreciação da avaliação dos registos sonoros quanto maior for o grau de urbanização presente.

Neste contexto, o desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação qualitativa do ambiente sonoro constitui assim um contributo essencial para o desenvolvimento sustentável de zonas urbanas, uma vez que a caracterização das paisagens sonoras urbanas e o estudo do conforto acústico de espaços exteriores se centram nas relações entre os estímulos físicos, o ser humano, o ambiente sonoro e a sociedade. Tendo em conta que o de tráfego rodoviário é a principal fonte sonora em zonas urbanas, a avaliação da sua percepção é um aspecto fundamental para a correspondente avaliação do ambiente sonoro.

1.2 Enquadramento do tema

A directiva 2002/49/CE do Parlamento europeu e do Conselho, de 25 de Junho de 2002, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente [Portugal. Leis, Decretos-Lei, 2006], tem como objectivo definir uma abordagem comum a todos os estados-membros para evitar, prevenir e reduzir os efeitos nocivos do ruído, incluindo a incomodidade, devido à exposição ao ruído ambiental, assim como a preservação da qualidade sonora dos espaços. Para o efeito, preconiza a determinação da exposição ao ruído ambiente das populações. Inicialmente, apenas foram consideradas aglomerações com um número de habitantes superior a 250 000 (Junho de 2007), e, numa segunda fase, as aglomerações com um número de habitantes superior a 100 000 (Junho de 2012). Para esta

determinação, cada estado membro deve utilizar métodos de cálculo provisórios para a previsão dos níveis sonoros emitidos pelas fontes de ruído mais importantes (tráfego rodoviário, tráfego ferroviário, tráfego aéreo e actividades industriais), combinados com sistemas de informação geográfica, de modo a elaborar o mapa estratégico de ruído da aglomeração em estudo. Sempre que se verifique a inexistência de métodos nacionais, a referida legislação aponta para a utilização de métodos interinos, designadamente: o método de cálculo francês “NMPB-Routes-96” para a previsão do ruído de tráfego rodoviário; o método de cálculo holandês “*Standaard-Rekenmethod II*” para a previsão do ruído de tráfego ferroviário e o método descrito no documento 29 da Conferência Europeia de Aviação Civil, para a previsão do ruído emitido por aeronaves e o método descrito na norma ISO 9613-2, para a previsão do ruído industrial.

Quando os níveis sonoros determinados pelos métodos de cálculo anteriormente descritos, e convenientemente validados, excederem os valores máximos admissíveis apontados por cada estado membro, para os períodos de referência estabelecidos (dia-entardecer-noite), devem ser elaborados e adoptados planos de redução de ruído. Para se atingir este objectivo, é proposto um indicador de ruído, o L_{den} (nível sonoro dia-entardecer-noite), baseado num descritor energético, o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, e que tem em conta os diferentes períodos do dia, com penalizações para o entardecer e para a noite. Embora este indicador, pela sua simplicidade, seja conveniente na descrição do ruído ambiente, ele não consegue explicar a complexidade do fenómeno que conduz à percepção sonora pelo ser humano [Semidor, 2005]. Por exemplo, sabe-se que os índices energéticos não são adequados para a avaliação ao ruído de tráfego rodoviário, em termos de sensações experimentadas, pois estas últimas também dependem de outros factores como as emergências dos eventos, o respectivo número de ocorrências e as suas características tonais. As escalas de ruído que se suportam em conceitos como o nível sonoro contínuo equivalente integram os espectros de ruído de todas as fontes presentes, independentemente das suas características, apresentando como resultado o nível global. Analogamente, os mapas de ruído valorizam os níveis sonoros existentes na fachada mais exposta, não tendo em conta a exposição sonora dos residentes fora das suas habitações, nas proximidades da sua zona residencial [Klæboe, 2005]. Este tipo de abordagem não tem em conta a apreciação qualitativa dos habitantes e visitantes da zona em análise e, em particular, a interacção entre as “dimensões” acústicas e os aspectos sociais, visuais e psicológicos. A aplicação deste tipo de abordagem aos planos de redução de ruído, revela-se essencial, uma vez

que a redução dos níveis sonoros pode não conduzir necessariamente a uma melhoria da qualidade de vida dos habitantes, para além do facto de ser de execução prática fácil, nem apresentar uma relação custo-eficácia satisfatória.

Estudos recentes sobre o conforto acústico em zonas urbanas [Yang e Kang, 2005b], mostraram que em zonas urbanas (neste caso espaços urbanos abertos, como por exemplo praças) com valores de níveis sonoros inferiores a 65-70 dB, o conforto acústico experimentado por indivíduos que utilizam esses espaços, não está directamente relacionado com os níveis sonoros, enquanto que outros factores de natureza não acústica (como por exemplo, o tipo de fontes sonoras e características dos utilizadores), desempenham um papel importante.

Do ponto de vista acústico, qualquer cidade tem uma diversidade de espaços claramente diferenciados pelos seus habitantes. Alguns desses espaços são aceites e valorizados positivamente, enquanto que outros são rejeitados. As formas urbanas e o tipo de actividades desenvolvidas numa determinada zona e o modo de vida dos habitantes dessa zona, podem modelar os sons e actuar sobre a percepção sonora, afectando a identidade e o carácter de um local. As variedades de situações e espaços associados a diferentes experiências sonoras podem ser recolhidos e analisados de modo a serem reconhecidas como emblemáticas para cada zona urbana. A caracterização da paisagem sonora de espaços públicos urbanos que constituem a identidade cultural de uma cidade possibilita a identificação do seu património, viabilizando a sua valorização e posterior actuação no sentido da sua preservação.

A melhoria da qualidade sonora de um determinado espaço urbano, não depende só da redução dos níveis sonoros globais, mas também do estudo e da melhoria da relação entre o espaço sonoro e o ambiente em que se vive. Assim, o desenvolvimento de metodologias que permitam a caracterização da paisagem sonora de uma zona urbana, assim com o estudo da percepção da atenuação proporcionada pelas medidas de minimização de ruído, viabilizará o estabelecimento de actuações mais eficazes para a melhoria do desempenho ambiental e da qualidade de vida dos habitantes dessas zonas, contribuindo para o seu desenvolvimento sustentável

Pelo que foi referido nos parágrafos anteriores, cada vez mais se torna necessário o estabelecimento de metodologias e técnicas de análise que permitam a compreensão do

ambiente sonoro de espaços urbanos, não só no que respeita à distribuição espacial dos níveis sonoros, mas também no contexto da descrição da paisagem sonora, para a avaliação da qualidade sonora de espaços exteriores. Refira-se também o contributo significativo que o campo da psicoacústica tem dado para a avaliação de ambientes sonoros complexos, a partir da introdução de parâmetros de avaliação suplementares (caracterização da sensação auditiva, tonalidade, aspereza, rugosidade e mascaramento, entre outros) e do desenvolvimento da análise binaural de registos sonoros. Até ao momento, todas estas técnicas e parâmetros têm sido exclusivamente utilizados para a avaliação da qualidade sonora de produtos industriais e de consumo, ou então para a avaliação do conforto acústico no interior de espaços fechados, como, por exemplo, veículos automóveis e aviões. As aplicações no âmbito da caracterização do ruído ambiente são escassas.

O trabalho de investigação que se propõe realizar pretende correlacionar dados objectivos, decorrentes da medição de descritores físicos, com dados subjectivos, de modo a contribuir para a compreensão da percepção humana dos estímulos sonoros presentes e a avaliação do ruído.

1.3 Objectivos do estudo

O presente trabalho pretende desenvolver uma metodologia para a avaliação do ambiente sonoro de zonas urbanas e de medidas de minimização de ruído, integrando a apreciação qualitativa dos seus habitantes e visitantes. Para esse efeito, o presente estudo de investigação é composto pelo seguinte conjunto de etapas:

- Identificação de descritores físicos, ambientais e sociais a utilizar na caracterização das diferentes fontes sonoras presentes no ambiente sonoro em zonas urbanas, mais relacionados com a percepção humana para os estudos de caso a seleccionar;
- Estudo do tipo de variáveis linguísticas a utilizar no escalonamento das fontes sonoras e elaboração de uma metodologia para apresentação de registos sonoros, em sessões de escuta, de modo a traduzirem mais adequadamente o grau de preferência e/ou de desagrado relativamente aos sons que compõem uma determinada paisagem sonora;

- Desenvolvimento de metodologias que permitam relacionar a caracterização subjectiva de cada fonte presente no tráfego rodoviário com parâmetros acústicos, de modo a permitir, por exemplo, a identificação do significado conotativo de cada som;
- Estudo da percepção das medidas de minimização de ruído mais utilizadas em Portugal, com vista ao estabelecimento de uma formulação que permita a correspondente integração em estudos de impacte ambiental.

1.4 Estudos desenvolvidos

No âmbito desta dissertação foi efectuada e redigida uma actualização do estado de conhecimentos no domínio da avaliação do ambiente sonoro, integrando o conceito de paisagens sonoras, na área da psicoacústica (métodos de medição e de apresentação de estímulos sonoros) e sobre principais efeitos do ruído. Também foi redigida uma actualização do estado do conhecimento sobre os modelos existentes para a avaliação da incomodidade induzida por este descritor e do modo de avaliar a sensibilidade de um indivíduo ao ruído, a utilizar nos inquéritos sócio acústicos.

Foram efectuadas medições dos níveis sonoros por detrás de barreiras constituídas por painéis em diversos materiais (painéis metálicos reflectores e absorventes, de acrílico, de betão, de madeira e barreiras “verdes”, e sem topos difractores) e realizados ensaios recorrendo-se à passagem de um modelo único de veículo ligeiro em vários tipos de pavimentos com características absorventes sonoras existentes em Portugal, designadamente em pavimentos rodoviários com camadas superficiais em betão betuminoso drenante, em microbetão e com betume modificado com borracha. Para ambas as situações foram efectuados registos áudio (em modo binaural), em diferentes pontos receptores, e a correspondente caracterização do ponto de vista físico e no domínio da psicoacústica.

Para a avaliação da estrutura cognitiva (atitude) dos indivíduos, nomeadamente o significado que eles atribuem ao ruído de tráfego urbano, foi realizado um inquérito a vários estudantes (da Universidade Católica, ISEL, Instituto Piaget, e de cursos de formação profissional realizados no LNEC e na Ordem dos Arquitectos) e a trabalhadores do LNEC. Este inquérito consistiu na audição dos registos áudio binaurais, seguida da avaliação de cada ruído por meio de escalas bipolares compostas pelos

adjectivos antónimos anteriormente referenciados. Os resultados deste inquérito foram processados pelo método de análise de componentes principais, com recurso ao *software* SPSS.

Em último lugar, foi desenvolvido um inquérito final, para a avaliação da percepção de medidas de minimização de ruído, tendo em conta todos os estudos anteriormente efectuados.

1.5 Organização da dissertação

O presente trabalho encontra-se dividido em sete capítulos, incidindo os três primeiros numa recolha bibliográfica dos diferentes temas que justificam e suportam o trabalho desenvolvido posteriormente. No capítulo quatro é caracterizado o estudo de caso, e nos capítulos cinco e seis é desenvolvida a metodologia utilizada neste trabalho e efectuada a análise de resultados. No capítulo sete são apresentadas as conclusões finais e as perspectivas de desenvolvimento no futuro. Apresenta-se de seguida a descrição resumida de cada um dos capítulos.

Capítulo 1: neste capítulo efectua-se a introdução geral ao problema e procede-se à justificação do estudo. Especificam-se os objectivos do trabalho, sintetiza-se a respectiva metodologia de desenvolvimento e a sua estrutura.

Capítulo 2: a partir da bibliografia disponível apresenta-se neste capítulo uma síntese relativa aos aspectos gerais de psicoacústica que se aplicam directamente à avaliação da percepção do ruído.

Capítulo 3: através da pesquisa bibliográfica efectuada, caracterizam-se os modelos de emissão e propagação sonoras utilizados actualmente, bem como o tipo de representação espacial dos níveis sonoros, e identificam-se as principais medidas de minimização de ruído susceptíveis de ser utilizadas em zonas urbanas. Neste capítulo, também se apresentam os resultados de uma pesquisa bibliográfica sobre os efeitos do ruído, e sobre as novas estratégias para a sua avaliação que compreendem a percepção dos residentes.

Capítulo 4: caracteriza-se o caso de estudo analisado e os locais seleccionados, realizando-se uma breve síntese sobre o ambiente sonoro da envolvente, estrutura dos edificado, e medidas de minimização existentes e/ou preconizadas em estudos de impacte ambiental.

Capítulo 5: neste capítulo desenvolve-se a metodologia para a avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de ruído de tráfego presentes em zonas urbanas e a metodologia utilizada para o desenvolvimento de um inquérito para a avaliação da percepção dos indivíduos a medidas de minimização de ruído. Neste âmbito, os estímulos sonoros utilizados são caracterizados em termos de parâmetros físicos e em termos de parâmetros psicoacústicos, que posteriormente são correlacionados com dados da percepção sonora, de modo a estabelecer a metodologia proposta.

Capítulo 6: apresenta-se a análise dos resultados da investigação de campo efectuada e analisam-se os resultados das entrevistas realizadas aos moradores e aos participantes do inquérito para a avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de ruído de tráfego presentes em zonas urbanas.

Capítulo 7: apresentam-se as conclusões retiradas dos resultados obtidos e as linhas de investigação futura, relacionadas com o tema em questão. Este capítulo realça a importância da consideração da percepção dos residentes, nos locais onde estão preconizadas medidas de minimização de ruído, em termos de informação no âmbito da participação pública em estudos de impacte ambiental.

Capítulo 2 : Aspectos gerais da psicoacústica

2.1 Considerações gerais

Inicialmente, a psicoacústica compreendia o estudo das relações entre estímulos sonoros e as correspondentes respostas auditivas, o que possibilitou um progresso no conhecimento do funcionamento do sistema auditivo e respectiva modelação. Com a evolução das técnicas de tratamento do sinal, a psicoacústica passou também a ser considerada como uma ciência dos sons, em que se estudam as propriedades particulares de um som, também designadas por "atributos subjectivos", e em que o sistema auditivo constitui uma ferramenta para a análise do som [Guski, 1997]. Efectivamente, a psicoacustica estuda o relacionamento entre a percepção do som e as propriedades físicas das ondas sonoras.

Para a descrição física dos estímulos sonoros, utilizam-se grandezas como o nível de pressão sonora, a evolução no tempo, a evolução na frequência, enquanto que, para a caracterização das correspondentes sensações físicas, se utilizam descritores, como, por exemplo, a *sensação de intensidade auditiva*, a *força de flutuação*, a *agudeza*, etc. No entanto, é importante realçar que uma determinada sensação auditiva não é influenciada exclusivamente por uma única grandeza física. Por exemplo, o aumento da intensidade de um som puro provoca uma determinada variação na sensação de *altura* do som, uma vez que o atributo subjectivo *altura* é aproximadamente equivalente ao correspondente perceptivo da frequência, sendo também dependente da intensidade [Genuit *et al.*, 2007].

As actividades de investigação científica relacionadas com a psicoacústica distribuem-se fundamentalmente entre os campos da pesquisa fundamental e das aplicações. No que respeita à pesquisa fundamental, este campo integra a descrição dos mecanismos da percepção auditiva e o impacto perceptivo dos estímulos sonoros. Relativamente às aplicações, a psicoacústica toca todos os domínios onde o auditor humano é o recipiente principal (audiologia, qualidade sonora de produtos, ambiente, comunicações). Essencialmente, pode considerar-se que em psicoacústica se trabalha num mundo duplo, constituído por uma parte física e uma parte psicológica. O foco da investigação em psicoacústica reside no estabelecimento de uma relação entre um evento acústico e a

respectiva percepção auditiva, procurando-se estabelecer correspondências entre o domínio físico (evento acústico), cujas características são mensuráveis, e o domínio sensorial, onde o escalonamento de sensações é realizado com a ajuda de métodos quantitativos específicos.

No campo da psicoacústica, o desenvolvimento dos algoritmos utilizados é baseado em dados obtidos em sessões de escuta de estímulos sonoros, planeadas de modo a explorar a relação entre os parâmetros acústicos e as sensações humanas. Para um participante neste tipo de sessões, a grande dificuldade na avaliação de um som reside no facto de os indivíduos não estarem habituados a realizar este tipo de tarefas, sendo necessário proceder-se previamente a uma aprendizagem. Assim, os participantes numa sessão de escuta são habitualmente distribuídos em grupos qualificados e não qualificados [Bismark, 1974]. Para um indivíduo, de um modo geral, um som é percebido inconscientemente como parte da impressão global de um cenário. Só em situações extremas, como, por exemplo, a exposição a níveis sonoros muito elevados ou muito baixos, é que essa pessoa reflectirá sobre o ambiente sonoro. A percepção sonora pode ser considerada como a recolha activa de informação, cuja tarefa é constituída pela focalização do indivíduo em partes do ambiente global. Porém, se outros indivíduos ouvirem o mesmo som, a informação extraída do sinal poderá ser distinta, desde que estes últimos não estejam directamente relacionados com a actividade que produz o som. Este facto conduz novamente à distinção entre som desejado (ou informação) e som não desejado (ou ruído). Um sinal cuja intensidade excede a amplitude exigida, sem transmissão de informação, é essencialmente conotado com o atributo de incomodativo [Kuwano e Namba, 2001].

Actualmente as características físicas da conversação humana, da música e do ruído podem ser avaliadas com uma exactidão considerável, pela utilização de um conjunto de instrumentação actualmente disponível (por exemplo, microfones, sonómetros, analisadores espectrais, filtros, osciloscópios), sendo os resultados destas medições expressos em termos de parâmetros físicos. No que respeita às características interpretativas da audição, estas são expressas por parâmetros subjectivos, determinados pela realização de experiências, em condições de audição pré-definidas. Os resultados destas experiências, conduzem a previsões estatísticas sobre as avaliações subjectivas de um conjunto de auditores ontologicamente normais [Guski, 1997].

A aplicação mais generalizada da psicoacústica, a avaliação da qualidade sonora de produtos, depende de três aspectos fundamentais: aspectos de acústica relacionados especificamente com engenharia mecânica e física; aspectos de psicoacústica referentes as inter-relações entre o estímulo sonoro e a correspondente percepção; e aspectos relacionados com os efeitos psicológicos e correspondentes regras que determinam o processo de julgamento pelo qual a qualidade sonora é avaliada [Genuit e Fiebig, 2006]. Neste caso, assume-se que os indivíduos participantes nas sessões de escuta realizadas em laboratório são capazes de avaliar algumas características do estímulo sonoro em estudo, de tal modo que possibilite a monitorização cuidada de efeitos da cognição e emoção, permitindo a sua contabilização na apreciação global da qualidade sonora. Nestas situações, é possível a utilização de atributos, como, por exemplo, a *sensação de intensidade auditiva* (*loudness*), *rugosidade* (*roughness*), *agudeza* (*sharpness*), *força de flutuação* (*fluctuation strength*) e *tonalidade* (*tonality*) na avaliação da “qualidade” dos estímulos sonoros. Este facto permite considerar que a qualidade sonora não é um parâmetro absoluto, mas orientado em direcção a um produto específico e respectivos grupos de utilizadores. A sua avaliação deve ser expressa como um problema multidimensional que requer o conhecimento de aspectos auditivos e físicos do estímulo sonoro e de factores cognitivos e emocionais.

2.2 - Princípios fundamentais da audição humana

2.2.1 – Anatomia do ouvido humano

O sistema auditivo humano engloba um conjunto de órgãos periféricos e regiões específicas no sistema nervoso central. Considera-se que o ouvido é constituído por três componentes estruturais: o ouvido externo, o ouvido médio e o ouvido interno. O ouvido externo engloba o pavilhão auricular (porção visível do exterior), o canal auditivo externo (tubo cilíndrico de comprimento aproximadamente igual a 3 cm e diâmetro compreendido entre 0,6 e 0,8 cm). A metade exterior deste canal é constituída por cartilagens, enquanto a metade interior está encaixada na porção mastóide do osso temporal. O canal auditivo é revestido por pele, contendo pêlos e glândulas produtoras de cera, com funções de

protecção e lubrificação, e termina na membrana do tímpano, fronteira externa da segunda componente do mecanismo de audição: o ouvido médio [Katz, 2004].

A cavidade do ouvido médio tem um volume compreendido entre 1 a 2 cm³, medindo cerca de 15 mm de altura e somente 2 a 4 mm de largura. Esta cavidade é revestida por uma membrana mucosa, semelhante à membrana que reveste a cavidade nasal. De facto, o ouvido médio é uma extensão da nasofaringe, a partir do tubo de Eustáquio. Este tubo, de comprimento igual a 37 mm, ventila a cavidade do ouvido médio, funcionando também como um equalizador de pressão, permitindo compensar variações de pressão exterior. Refira-se, que, em condições normais, a trompa de Eustáquio encontra-se num estado de colapso, impedindo que a voz e os “sons” da respiração do próprio indivíduo, não sejam transmitidos para o ouvido médio. A ligação do tímpano ao ouvido interno é efectuada a partir de uma cadeia de ossículos, designados individualmente por martelo, bigorna e estribo. Esta cadeia ossicular funciona como adaptador de impedâncias de dois meios com propriedades acústicas distintas (ar e fluído coclear). Existem igualmente no ouvido médio dois músculos muito importantes: o tensor timpânico e o estapédio. A activação destes músculos protege o ouvido de sons muito intensos, por meio de um mecanismo que favorece a desadaptação de impedâncias a partir da alteração do modo de vibração da cadeia ossicular. Este movimento reflexo, dito estapédico, pode, para frequências abaixo dos 2000 Hz, atenuar sons até ao máximo de 20 a 30 dB, durante intervalos de tempo curtos [Katz, 2004]. Na Figura 2.1 apresenta-se em esboço das diferentes estruturas que constituem o ouvido humano.

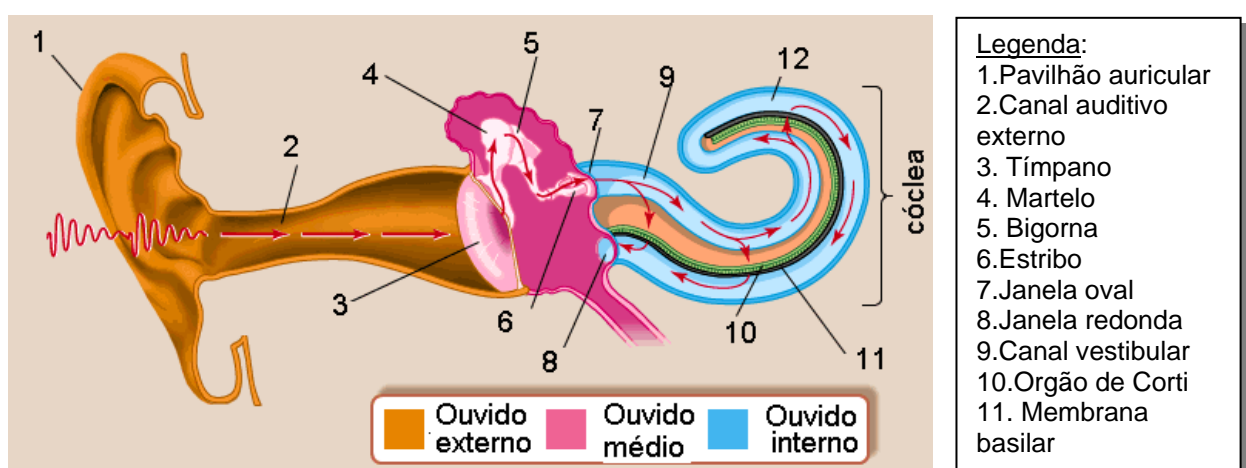


Figura 2.1 - O ouvido humano (*adaptado de Encyclopedia Britannica online*)

O ouvido interno é uma estrutura que apresenta vários canais interligados, contemplando fluidos, membranas, células sensoriais e nervos. O ouvido interno contém a cóclea que é o órgão “nobre” da audição, inserida numa cavidade óssea designada por labirinto ósseo anterior. As vibrações recebidas em qualquer ponto da superfície cutânea podem, desde que possuam energia suficiente, ser transmitidas, a partir desta parte óssea que protege a cóclea, ao líquido que a preenche. A cóclea constitui o órgão sensorial terminal do mecanismo da audição, onde a vibração associada ao estímulo sonoro é convertida num estímulo de natureza electroquímica, que posteriormente irá ser interpretada pelo córtex cerebral. A cóclea tem a forma de uma “concha de caracol”, tendo uma forma de espiral com duas voltas e meia. É constituída por três canais ou ductos preenchidos por líquido ou fluido coclear. O canal central é designado por ducto coclear e está separado pela membrana basilar do canal do tímpano (“*scala tympani*”), e a membrana de Reissner separa o canal central do canal vestibular (“*scala vestibuli*”). Na extremidade da cóclea, os canais do tímpano e vestibular estão ligados entre si, por uma abertura, o helicotrema. No extremo oposto (base da cóclea), existem duas membranas flexíveis, a janela oval e a janela redonda, que separam o fluido coclear no interior da cóclea do ar (à pressão atmosférica) existente no espaço do ouvido médio [Katz, 2004]. A janela oval situa-se no canal vestibular e a janela redonda no canal do tímpano. A Figura 2.2 apresenta um esquema do ouvido interno.

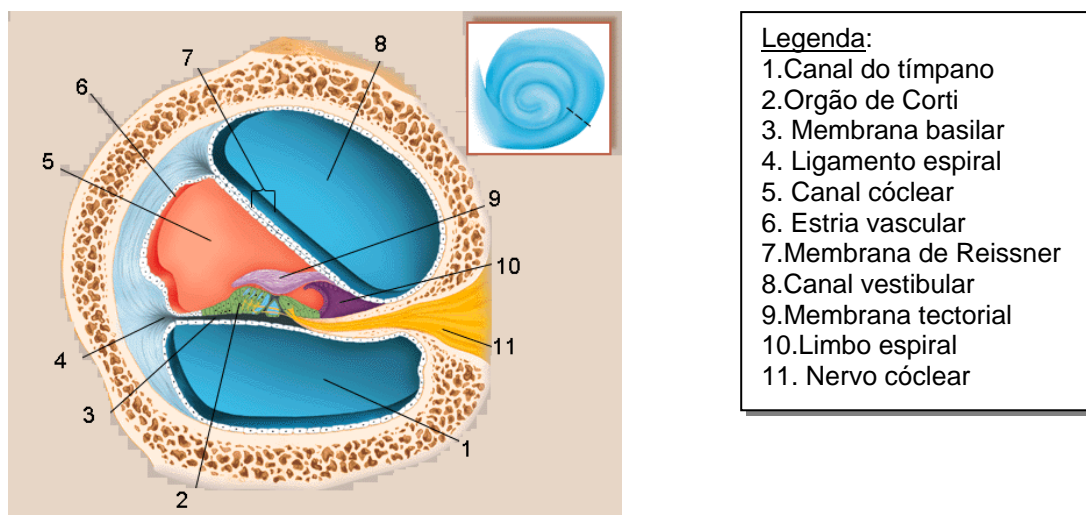


Figura 2.2- Representação esquemática do ouvido interno (*adaptado de Encyclopedia Britannica online*)

Na membrana basilar está localizado o receptor sensorial do mecanismo da audição, o órgão de Corti. Este órgão é constituído por uma moldura de células de suporte onde

estão embebidas as células sensoriais (denominadas de células ciliadas), que por sua vez se encontram ligadas às fibras nervosas. Estas fibras irão constituir a parte coclear do VIII nervo vestibulo coclear, que, ao juntar-se com a parte vestibular, constituem o chamado nervo auditivo.

As restantes componentes do ouvido interno e que constituem o sistema vestibular, nomeadamente o vestíbulo, os canais semi-circulares, utrículo e sáculo, contêm igualmente fluidos, membranas, células sensoriais e tecido nervoso. O sistema vestibular é o órgão sensorial terminal do equilíbrio, contribuindo para a determinação da posição no espaço do corpo humano, particularmente quando se verificam mudanças de aceleração ou mudanças de posição da cabeça humana [Katz, 2004].

2.2.2- O mecanismo da audição

As ondas sonoras que atingem a extremidade cefálica segundo diversas orientações são direccionadas pelo pavilhão auricular para o canal auditivo externo. Os movimentos da membrana do tímpano são determinados pelas variações longitudinais de pressão sonora. Estas variações provocam alterações da pressão adjacente à superfície exterior do tímpano, e, em consequência, a membrana do tímpano é colocada num estado de vibração cuja amplitude é proporcional à amplitude da onda sonora.

O campo sonoro que se estabelece à entrada do canal auditivo externo pode não representar necessariamente o campo sonoro onde o receptor está localizado, em virtude da própria influência do auditor (devido a efeitos de absorção e reflexão sonoras), e do canal auditivo externo apresentar uma frequência de ressonância próxima de 3800 Hz (relacionada principalmente com o comprimento do canal). Como resultado desta frequência de ressonância, existe um acréscimo de 10 dB no nível de pressão sonora na membrana do tímpano, para sons com frequências próximas de 3800 Hz [Silva, 1989].

As vibrações da membrana do tímpano são transmitidas à cadeia ossicular, o que por sua vez produz uma vibração do estribo tipo vaivém (êmbolo), na janela oval. Estes pequenos ossos actuam como uma alavanca, amplificando a força exercida na janela oval, por um factor de 1,3 relativamente ao valor da força exercida pela membrana do tímpano. Este acréscimo de força é realçado pela diferença de áreas entre a membrana

do tímpano e a platina do estribo, que é da ordem de 14. Multiplicando a diferença efectiva de áreas (14), pela acção de alavanca, verifica-se um acréscimo de pressão de 18,3 (correspondendo em escala logarítmica, a um factor de amplificação de 25 dB). O ouvido médio actua como um transformador, adaptando a impedância do ar à impedância do fluido do ouvido interno [Henrique, 2007].

Na janela oval, os eventos que resultam da vibração do estribo podem ser vistos como duas ondas. A vibração na janela oval produz variações de pressão no fluido coclear que se propagam pelo canal vestibular, e através do helicotrema, produzindo uma vibração simétrica na membrana da janela redonda. Esta onda, que se propaga à velocidade do som em meios líquidos, não produz forças na membrana basilar nem no órgão de Corti, pois a sua velocidade é a mesma em ambos os canais, vestibular e do tímpano. Além disso, a velocidade de propagação desta onda pode considerar-se infinita o que significa admitir que o fluido coclear é incompressível. Contudo, a existência desta onda de pressão vai estabelecer um gradiente de pressões através da membrana basilar. É esta diferença de pressões que vai dar lugar a uma força na membrana basilar pondo-a em movimento. Este movimento irá propagar-se ao longo da cóclea, se bem que mais lentamente. O deslocamento da membrana basilar e do órgão de Corti, vai fazer por sua vez com que os cílios das células ciliadas sejam deflectidos, produzindo uma variação de tensão através das membranas das células ciliadas. Esta transdução mecanoeléctrica vai induzir “disparos” nas fibras do nervo coclear, transmitindo assim a informação acústica aos centros neuronais mais elevados da via auditiva [Henrique, 2007].

As características físicas da membrana basilar vão ditar as propriedades da onda de gradiente de pressão que se propaga ao longo da cóclea. Uma vez que a rigidez da membrana decresce desde a base (janelas) até ao ápice (helicotrema), a velocidade de propagação também decresce tornando-se o comprimento de onda cada vez menor para uma dada frequência de excitação ($\lambda = v/f$). A onda é inicialmente “longa”, tornando-se progressivamente mais “curta”. Como resultado deste encurtamento, a amplitude da onda é atenuada, acabando por se extinguir numa região de dimensões reduzidas. A amplitude máxima é atingida numa posição designada por “posição característica”, que é função da frequência de excitação. Por outro lado, cada localização da cóclea tem associada uma frequência característica. As frequências características decrescem desde a base da cóclea até ao ápice, do mesmo modo que a rigidez da partição decresce ao longo da sua extensão. Ondas com frequências mais elevadas extinguem-se perto da base, enquanto

ondas de frequência mais baixa penetram mais profundamente na cóclea. Este funcionamento hidromecânico em termos de ondas progressivas e a tradução posição-frequência constitui a base da análise espectral operada pela cóclea [Katz, 2004].

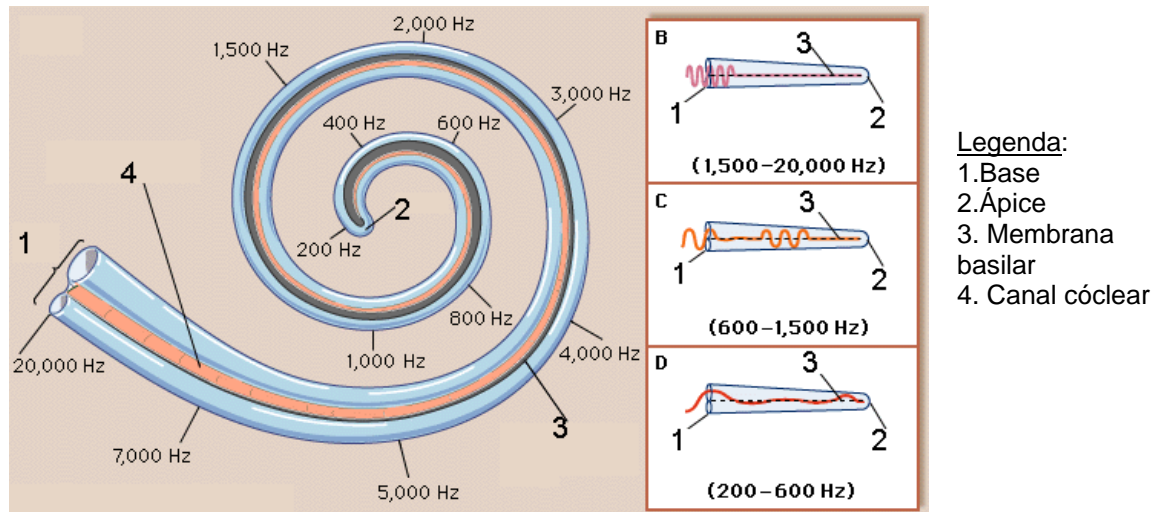


Figura 2.3- Pontos de deslocamento máximo da membrana basilar em função da frequência [adaptado de *Encyclopedia Britannica online*]

Deve-se ainda referir que as vibrações cocleares têm amplitudes da ordem das dimensões moleculares, e que a cóclea pode detectar uma variação de pressão de $20\mu\text{Pa}$. Apesar desta extrema sensibilidade, a cóclea suporta por pequenos períodos, pressões sonoras com uma amplitude de 1 milhão de vezes superiores à pressão sonora correspondente ao limiar de audição. Tal gama dinâmica (120 dB) é possível devido a uma redução de sensibilidade mecânica à medida que o nível sonoro aumenta. Para baixos níveis de excitação, a cóclea comporta-se de modo aproximadamente linear, sendo para esta situação válidos os modelos cocleares lineares, definidos no domínio da frequência. A vibração da membrana basilar e órgão de Corti, relativamente às estruturas ósseas e ao fluído circundante é conhecida como “vibração macromecânica”, enquanto que a vibração das partes constituintes do órgão de Corti entre si, é designada como “vibração micro mecânica”. Os modelos cocleares seguem a mesma classificação, existindo modelos macro mecânicos e modelos micro mecânicos da cóclea [Perdigão, 1998].

Muitas linhas de investigação, ao longo dos últimos anos, indicam claramente que, na cóclea, não existe somente o mecanismo passivo descrito anteriormente. Um facto já aceite, é o mecanismo activo envolvendo o fenómeno da emissão otoacústica. Este

fenómeno consiste na existência de um som no canal auditivo externo, que se pensa ser originado a partir de vibrações dentro da cóclea e que se propagam pelo ouvido médio. Presentemente, os modelos cocleares passaram a incidir em especial na micro mecânica.

Dado que o ouvido interno está encaixado numa porção do osso temporal, as vibrações mecânicas deste osso provocam a movimentação directa do fluido do ouvido interno. Deste modo, pode ser provocada uma sensação auditiva sem a existência de vibrações provenientes da membrana do tímpano e da cadeia ossicular. Este mecanismo de transmissão do som por condução óssea é muito menos eficiente do que o mecanismo por condução aérea. Na realidade, é necessário que a amplitude da vibração seja muito grande para que possa colocar os ossos do crânio em vibração, antes que o mecanismo de transmissão sonora por condução aérea actue. Para além deste facto, deve-se salientar que, no mecanismo por condução óssea, as ondas sonoras experimentam fenómenos de distorção, uma vez que, os sons de frequência menor são menos absorvidos que os sons de frequência superior [Perdigão, 1998].

2.2.3 – Propriedades fundamentais do ouvido humano

2.2.3.1 – Limiares de audição e curvas de igual sensação auditiva

O ouvido humano possui um limiar específico de sensibilidade no qual se inicia a percepção. O limiar de audição corresponde ao nível de pressão sonora mínima para se obter sensação auditiva e é fortemente dependente da frequência. Para o ouvido humano, o limiar mínimo situa-se próximo de 3 kHz, sendo cerca de 30 dB inferior ao valor para a frequência de 100 Hz e cerca de 60 dB inferior para a de 30 Hz. Aumentando a intensidade física do estímulo sonoro a partir do limiar de audição alcança-se o limiar da dor, em que a sensação auditiva provoca uma sensação dolorosa.

Em 1933, Fletcher e Munson [Katz, 2004] apresentaram um conjunto de curvas expressas em função da frequência, denominadas por “curvas de igual sensação auditiva” ou “curvas isofónicas”. Estas curvas representam os níveis de pressão sonora

de sons puros que são considerados pelo auditor como correspondentes a níveis iguais de intensidade auditiva (dadas as condições experimentais realizadas). Este trabalho serviu de base para diversos estudos sobre a relação entre os níveis de pressão sonora e os níveis de sensação de intensidade. Em 1961, foi publicada a norma ISO 226 (revista em 1987 e posteriormente, em 2003) sobre a determinação do nível de sensação de intensidade de sons puros. Esta norma apresenta também factores correctivos que permitem obter as curvas de igual sensação de intensidade, para ruído de banda estreita em campo difuso. A Figura 2.4 mostra a variação do nível de pressão sonora para sons puros, ao qual corresponde o mesmo nível de sensação de intensidade, para audição biaural, com o auditor em frente à fonte sonora e em condições de propagação sonora de “campo livre”. O limiar de audição biaural, também designado por “campo audível mínimo”, está representando na Figura 2.4 pela sigla MAF¹, e pode ser considerado como um caso particular das curvas de igual sensação de intensidade (correspondente à curva de 4,2 fone). O nível de sensação de intensidade (*loudness level*) de um estímulo sonoro constituído por um som puro é expresso em fone e é numericamente igual ao nível de pressão sonora, expresso em dB, de um som com a frequência de 1000 Hz que, propagando-se livremente por ondas planas e atingindo o auditor frontalmente, com audição biaural, lhe produz igual sensação de intensidade auditiva. Refira-se que o nível de sensação de intensidade expresso em fone não é uma medida da sensação auditiva, mas somente uma escala em decibel, compensada em frequência [Hartmann, 1997]. Este tipo de representação mostra que o sistema auditivo humano é mais sensível para frequências em torno dos 4000 Hz e que tem uma sensibilidade reduzida nas frequências inferiores e superiores a este valor. Para além do facto anteriormente referido, verifica-se que estas curvas não são paralelas, mas sim dependentes do nível de sensação auditiva, especialmente para frequências muito baixas.

Em determinadas áreas, designadamente em audiologia, o tipo de estudos efectuados requer a realização de medições de referência para um único ouvido (audição monoaural), em vez da situação de audição biaural. Estas medições são realizadas a partir da colocação de um auscultador no canal auditivo externo. Obviamente, a colocação deste auscultador altera as condições de audição. Entre outros factores, existe uma alteração na frequência de ressonância do canal auditivo, uma vez que a colocação do auscultador sela ambas as extremidades deste canal (note-se que a extremidade

¹ Sigla que deriva do termo de origem anglo saxónica: *Minimum Audible Field*

oposta termina na membrana do tímpano). O conjunto de valores correspondentes aos níveis de pressão sonora referentes aos valores limiares de audição monoaural, obtidos por meio de auscultadores inseridos no canal auditivo externo também é designado por pressão mínima audível (conhecida pela sigla MAP ²).

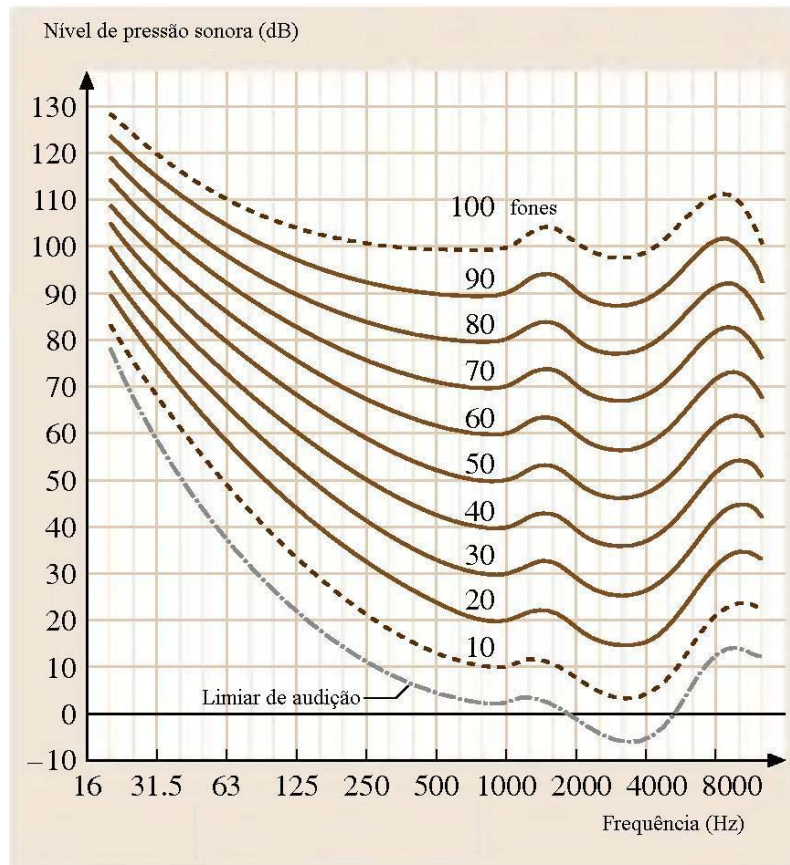


Figura 2.4 – Curvas de igual sensação auditiva e limiar de audição (MAF)
(figura adaptada de Rossing, 2007)

2.2.3.2 – Mascaramento

A exposição do ouvido a mais que um estímulo sonoro pode determinar a redução da capacidade auditiva para algum ou alguns desses sons, fenómeno que se designa por “mascaramento”. Este fenómeno pode interpretar-se como a elevação do limiar de audição para os sons mascarados, quando são apresentados simultaneamente os dois

² Sigla que deriva do termo de origem anglo saxónica: *Minimum Audible Pressure*

estímulos sonoros. Esta alteração faz-se sentir nas frequências vizinhas do som mascarador, incidindo mais acentuadamente na gama de frequências mais elevada. No entanto, o fenómeno de mascaramento também ocorre quando não existe simultaneidade na apresentação dos dois sons. Nesta situação, o som em avaliação deve ser um som de curta duração ou mesmo de natureza impulsiva, e apresentado antes do som mascarador. O efeito de mascaramento produzido nestas condições é designado por “pré-estímulo mascarador”, ou “pré-mascaramento”. Este efeito não é muito forte, mas se o som de teste é apresentado posteriormente do som mascarador, podem, neste caso, ocorrer efeitos de mascaramento bastante pronunciados.

2.2.3.3 – Banda crítica

Em 1937, Fletcher e Munson [Katz, 2004] constataram que o mascaramento de um som por um ruído de banda larga é independente da largura da banda de ruído mascarador até um determinado valor (designado mais tarde por “banda crítica”), sendo no entanto dependente da frequência do som. O conceito de uma banda crítica traduz o intervalo de frequências a que corresponde a excitação da mesma região da membrana basilar, podendo-se considerar que o nosso sistema auditivo decompõe o espectro do sinal sonoro por vários canais em frequência, designados por bandas críticas. Em 1961, Zwicker [Prante, 2002] publicou as bandas críticas (conhecidas como bandas críticas de Munique), utilizando o número de banda crítica z , e tendo como escala, o Bark. A relação aproximada entre a frequência (em kHz) e a escala em Bark, $z(F)$, é dada pela Eq.(2.1), enquanto que a largura de banda para cada banda crítica é dada pela Eq.(2.2) [Zwicker e Fastl, 1999]. No domínio do audível, entre os 20 Hz e os 16 kHz, existem 24 bandas críticas, que são obtidas pelas Eqs. (2.1) e (2.2). Para se obterem os valores exactos é necessário recorrer a tabelas.

$$z(F) = 13,0 \arctan\left(\frac{0,76F}{kHz}\right) + 3,5 \arctan\left(\frac{F}{7,5kHz}\right)^2 \quad \text{Bark} \quad (2.1)$$

$$\Delta f_G(F) = 25 + 75 \left(1 + 1,4 \left(\frac{F}{kHz} \right)^2 \right)^{0,69} \quad \text{Hz} \quad (2.2)$$

Em 1986, no decurso de experiências sobre o mascaramento de sons, Pattersson e Moore [Prante, 2002], estabeleceram um novo conjunto de bandas críticas, ao qual correspondiam larguras de banda inferiores às bandas críticas de Munique, e conhecidas pela designação do local onde decorreram estas experiências: “bandas críticas de Cambridge”. De modo a salientar esta diferença, Moore utiliza o termo anglo-saxónico ERB (em inglês, *Equivalent Rectangular Band*) em vez de Bark. A Eq. (2.3), apresenta a relação entre a frequência e o numero de bandas críticas, enquanto que a largura de cada banda critica é expressa pela Eq. (2.4):

$$n(F) = 21,4 \log_{10} \left(4,37 \frac{F}{\text{kHz}} + 1 \right) \quad \text{Cam} \quad (2.3)$$

$$ERB(F) = 24,7 \left(4,37 \frac{F}{\text{kHz}} + 1 \right) \quad \text{Hz} \quad (2.4)$$

A Figura 2.5 traduz uma representação gráfica das Eqs.(2.2) e (2.4) para a largura de banda, respectivamente das bandas críticas de Munique (BM, ver Figura 2.5), de Cambridge e também para as bandas de terço de oitava. Pela da Figura 2.5, verifica-se, para todas as frequências, que as bandas críticas de Cambridge são mais estreitas que as de Munique, sendo esta diferença mais marcada abaixo dos 500 Hz.

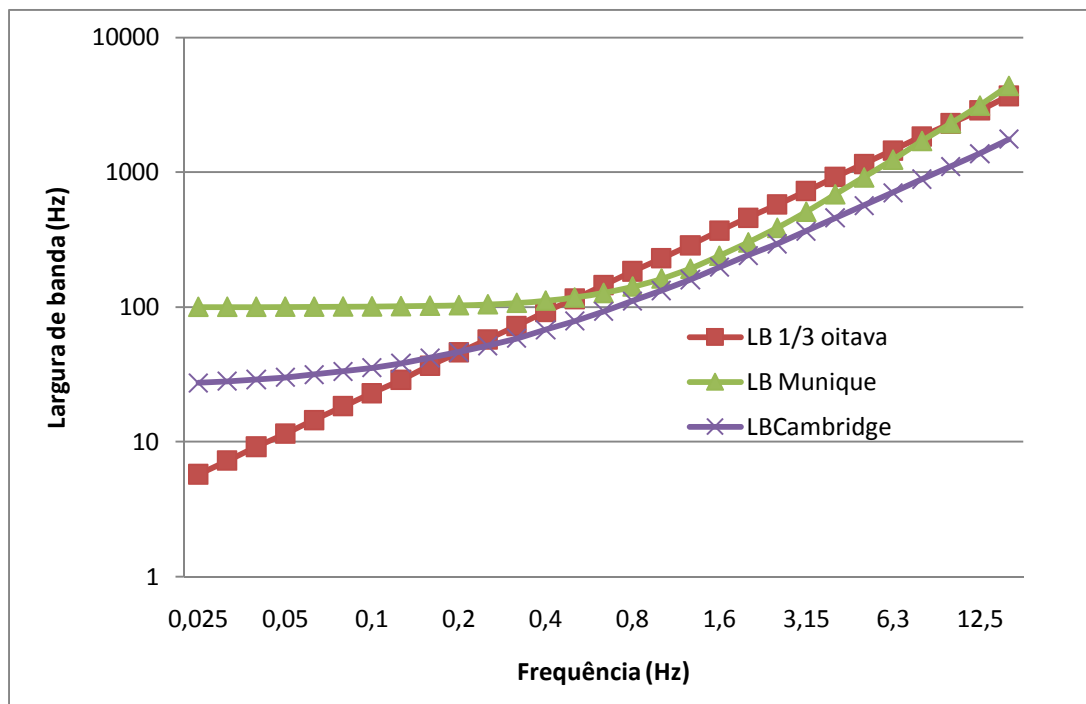


Figura 2.5- Largura das bandas críticas

Para a escala em Bark, não existem expressões analíticas para a implantação dos filtros auditivos. No entanto, como se pode ver na Figura 2.6, para frequências inferiores a 500 Hz, a largura da banda crítica é de aproximadamente 100 Hz, crescendo de modo logarítmico para frequências maiores. Para frequências superiores a 300 Hz, as bandas críticas são comparáveis com as bandas dos filtros de um terço de oitava (com a largura de banda aproximadamente igual a 23% da frequência central). Assim, a implementação dos filtros e a decomposição da energia do sinal total em bandas críticas, é realizada a partir da utilização dos filtros de banda de um terço de oitava, sendo posteriormente efectuada uma distribuição da energia por cada banda crítica, de acordo com a Eq. (2.2).

2.3 – Parâmetros utilizados na caracterização dos estímulos sonoros

2.3.1– Parâmetros acústicos

2.3.1.1– Nível de pressão sonora

Os fenómenos acústicos de interesse consistem em flutuações de amplitude muito reduzida, que se estendem essencialmente por uma gama de frequências compreendida entre 20 Hz e 16 kHz. A amplitude mínima detectável destas flutuações é da ordem de 20 µPa (tomando como valor mínimo o valor correspondente ao limiar de audição para a frequência de 1000 Hz). No entanto, a gama dinâmica de medição estende-se por uma grande gama de valores, usualmente com um limite máximo da ordem de 200 Pa. Deste modo, os valores das grandezas correntemente utilizadas em Acústica, como por exemplo a pressão, a intensidade e potência sonoras, são expressas em termos dos seus níveis relativamente a valores de referência, em detrimento da representação nas unidades físicas apropriadas [Silva, 1989]. Represente-se por G o valor da grandeza a considerar com a fórmula dimensional de potência e G_0 , o valor de referência para essa mesma grandeza. O nível desta grandeza relativamente ao valor de referência, expresso em decibel (dB), define-se de acordo com a expressão:

$$L(G) = 10 \log_{10} \left(\frac{G}{G_0} \right) \quad \text{dB} \quad (2.5)$$

A principal razão para a adopção do conceito de nível, reside no facto de as escalas logarítmicas traduzirem, de um modo mais apropriado, o poder resolvente do ouvido humano do que as escalas dos valores eficazes, demasiado extensas. A definição do conceito de nível é directamente aplicável à potência e intensidade sonora, para as quais os valores de referência são respectivamente iguais a: 10^{-12} W e $10^{-12}/\text{m}^2$.

No que respeita à pressão sonora, a extensão do conceito de nível faz-se por definição, verificando-se, para os casos particulares das ondas planas e ondas esféricas, valores idênticos para o nível de pressão e intensidade sonora, uma vez que, nesta situação, o valor médio da intensidade sonora é proporcional ao quadrado do valor eficaz da pressão sonora. O nível de pressão sonora em dB, determina-se a partir da expressão:

$$L(P) = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad \text{dB} \quad (2.6)$$

representando:

P = valor eficaz da pressão sonora;

P_0 = valor de referência para a pressão sonora, igual a 20^{μ}Pa (valor que corresponde ao limiar de audição humana para a frequência de 1000 Hz)

2.3.1.2– Ponderação em frequência

Para simular o efeito que a frequência de um estímulo tem na percepção sonora, foram desenvolvidas malhas distintas de ponderação em frequência. As malhas de ponderação normalizadas [IEC 61672-1, 2002] incluem:

- Malha de ponderação A : desenvolvida para a medição de níveis de ruído abaixo de 55 dB. Esta malha de ponderação corresponde aproximadamente à curva de igual sensação auditiva de 40 fone [Moore, 1989]. A curva de 40 fone, define os níveis de pressão sonora para sons de diferentes frequências e que são julgados como “igualmente audíveis” a um som puro de amplitude igual a 40 dB e com uma frequência de 1000 Hz (admitindo condições de propagação sonora em campo livre). Tendo em conta a Figura 2.4, constata-se para sons mais intensos (por exemplo para sons com níveis de 80 fone) e em especial na zona das baixas frequências, que a atenuação da curva de ponderação A é muito maior que a correspondente curva de igual sensação auditiva. Actualmente, a ponderação A é uma das malhas mais utilizadas na regulamentação no domínio da

acústica, que envolva a percepção humana. O valor máximo do nível de pressão sonora ponderado A, é muitas vezes igualmente utilizado em estudos relativos ao ruído de passagem de veículos.

- Malha de ponderação C: desenvolvida para a medição de níveis de ruído acima de 85 dB. Esta malha de ponderação corresponde aproximadamente à curva de igual sensação auditiva de 100 fone.

- Filtros de oitava e de terços de oitava :

No que se refere à análise no domínio da frequência de um estímulo sonoro, visando o seu processamento em termos do modo de como se organiza a percepção auditiva humana, são utilizados filtros de largura variável, proporcional à frequência central do filtro. Os filtros mais correntemente utilizados são os de oitava (onde se verifica a relação $f_2 = 2f_1$ entre duas frequências espaçadas de uma oitava), e os de um terço de oitava (onde se verifica a relação, $f_s = \sqrt[3]{2} f_i$, entre duas frequências espaçadas de um terço de oitava). A gama de frequências audíveis, que se considera compreendida entre 20 Hz e 20 kHz, encontra-se dividida, no primeiro caso, em 10 bandas de frequências com a largura de uma oitava, com frequências centrais iguais respectivamente a 31,5; 63; 125; 250 e 500 Hz e 1; 2; 4; 8 e 16 kHz. No segundo caso, o domínio do audível encontra-se dividido em 30 bandas. Os limites inferiores (f_i) e superiores (f_s) de cada banda de oitava são dados pelas Eqs. (2.7a) e (2.7b).

$$f_i = \frac{f_0}{\sqrt{2}} \quad (2.7a)$$

$$f_s = \sqrt{2} \cdot f_0 \quad (2.7b)$$

uma vez que

$$f_0 = \sqrt{f_i f_s} \quad (2.7c)$$

sendo a largura de cada banda de oitava (LB) obtida a partir de:

$$LB = \frac{f_0}{\sqrt{2}} \quad \text{Hz} \quad (2.8)$$

De modo a evitar a utilização de números irracionais, estão fixadas as frequências centrais de cada banda de oitava (o mesmo sucede para as bandas de meia e de um terço de oitava). Os respectivos valores encontram-se publicados na norma ISO 1683

(edição de 1983). Para as bandas de frequências de um terço de oitava, verificam-se as seguintes relações entre os limites inferiores, f_i , e superiores, f_s , de cada banda e correspondente largura de banda:

$$f_i = \frac{f_0}{\sqrt[6]{2}} \quad (2.9a)$$

$$f_s = \sqrt[6]{2} \cdot f_0 \quad (2.9b)$$

uma vez que

$$f_0 = \sqrt{f_i \cdot f_s} \quad (2.9c)$$

sendo a largura de cada banda de terço de oitava (LB) obtida a partir de:

$$LB = f_0 \cdot (\sqrt[6]{2} - \frac{1}{\sqrt[6]{2}}) \quad \text{Hz} \quad (2.10)$$

2.3.1.3 – Nível sonoro contínuo equivalente

O nível sonoro contínuo equivalente, $L_{eq,T}$ é definido como o valor do nível de pressão sonora, de um ruído uniforme que, no intervalo de tempo T , tem o mesmo valor eficaz da pressão sonora do ruído considerado. Este descritor é expresso por:

$$L_{eq,T} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_o^2} dt \quad (2.11)$$

onde $L_{eq,T}$ representa o nível sonoro contínuo equivalente, em decibel, determinado num intervalo de tempo T com início em t_1 e fim em t_2 ; p_o a pressão sonora de referência e $p^2(t)$ a pressão sonora instantânea do sinal sonoro.

Este descritor pode ser afectado da ponderação A, constituindo um dos indicadores de ruído mais utilizados a nível de legislação na matéria do ruído ambiente. Efectivamente a directiva 2002/49/CE do Parlamento europeu e do Conselho, de 25 de Junho de 2002, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente estipula um indicador de ruído, o L_{den} (nível sonoro dia-entardecer-noite), baseado no descritor energético, o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A. Este descritor tem em conta os diferentes períodos do dia, com penalizações para o período de entardecer (que no caso português, está compreendido entre as 20 e as 23 horas) e para o período nocturno (que no caso português está compreendido entre as 23-07 horas), atendendo à incomodidade associada a estes períodos. O nível sonoro dia-entardecer-noite, exprime-se como:

$$L_{den} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left[13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right] \quad (2.12)$$

2.3.2 – Parâmetros psicoacústicos

2.3.2.1 – Sensação de intensidade auditiva

A sensação de intensidade auditiva (*loudness*) é um dos descritores mais importantes nos estudos de psicoacustica, podendo-se considerar como a tradução do equivalente subjectivo de “potência”. Moore define a sensação de intensidade auditiva como o atributo segundo o qual os sons podem ser ordenados, numa escala que se estende desde o mais fraco até ao mais forte [Moore e Glasberg, 1996].

Em termos físicos, a sensação de intensidade auditiva corresponde à intensidade sonora apercibida de um estímulo [Zwicker e Fastl, 1999], relativamente a um valor de referência. A avaliação da sensação de intensidade auditiva está internacionalmente normalizada (ISO 131, 1979), sendo utilizada como unidade, o sone, definido como a intensidade auditiva de um estímulo sonoro com a frequência de 1000 Hz e nível de pressão sonora de 40 dB. Para valores acima de 40 dB, um acréscimo no nível de pressão sonora de 10 dB, corresponde a um aumento, por um factor de 2, da sensação de intensidade auditiva (ou seja, os estímulos são apercibidos como equivalendo a uma sensação sonora “duplamente mais alta”, o que corresponde a um valor de intensidade auditiva de dois sone).

A relação entre a sensação de intensidade auditiva e intensidade sonora é expressa por [Silva, 1989].

$$\frac{N_x}{sone} = b \left(\frac{I_x}{I_0} \right)^a \quad (2.13)$$

em que N_x indica a sensação de intensidade auditiva de um som de 1 kHz ou de um ruído uniforme (ruído com a mesma intensidade para qualquer banda crítica), I_x indica a correspondente intensidade sonora, I_0 a intensidade sonora de referência (10^{-12} W/m²). De acordo com Zwicker, o expoente a e a constante b dependem do tipo de som em

análise. No caso de um som puro, com a frequência de 1000 Hz, $a = 0,3$ e $b = 0,06$, enquanto que, para um ruído uniforme $a = 0,23$ e $b = 0,66$.

Para a avaliação da sensação de intensidade auditiva, assume-se que o som é analisado no sistema auditivo por um conjunto de filtros, em que a largura de banda de cada um desses filtros é igual à banda crítica. Este tipo de procedimento permite uma contabilização mais eficaz de diversos efeitos da percepção auditiva, como por exemplo o mascaramento, e os efeitos dependentes da frequência. A sensação de intensidade auditiva, N , é calculada a partir da soma dos valores específicos da sensação auditiva para cada banda crítica, N' [Zwicker e Fastl, 1999].

$$N = \int_0^{24} N' dz \quad (2.14)$$

Para estímulos sonoros de banda larga, cuja intensidade se mantém sensivelmente constante no tempo, a sensação de intensidade auditiva pode determinar-se a partir da análise espectral dos níveis de pressão sonora em bandas de oitava ou de terços de oitava. A partir destas distribuições, determinam-se as intensidades auditivas correspondentes a cada uma das bandas de frequência, procedendo-se, depois, à combinação dos valores correspondentes. Como a aproximação de medição por bandas de terço de oitava só é aceitável para frequências superiores a 300 Hz, uma vez que para frequências inferiores a este valor a largura de uma banda de terço de oitava é muito inferior à largura de banda crítica, é necessário adicionar os valores correspondentes a duas ou mesmo três bandas. O modo de realizar esta combinação está descrito na norma ISO 532 (1975), existindo dois métodos distintos (estabelecidos por Stevens em 1961 e Zwicker em 1979), consoante a distribuição espectral em causa e tipo de campo sonoro ("difuso" no método de Stevens e "livre" ou "difuso" no método de Zwicker), respectivamente método A e método B (ISO 532, 1975):

Método A – recomendado para ruído de banda larga em campo difuso, preferencialmente de carácter estacionário (embora em alguns casos se possa utilizar para ruído intermitente quando as respectivas descontinuidades estão devidamente caracterizadas no tempo), e em que o sinal a analisar foi registado por bandas de oitava.

Método B – método formulado por Zwicker, nos anos 50, que pode ser utilizado em ruído de banda larga ou estreita. A relação entre nível de pressão sonora e a sensação de

intensidade em cada banda é dada por uma série de 10 gráficos, 5 para campo difuso e 5 para campo livre. O cálculo do nível de sensação auditiva deve ser realizado a partir da análise de ruído em bandas de terço de oitava.

Embora os métodos para o cálculo da sensação de intensidade auditiva não sejam em princípio contraditórios, a própria norma indica “os resultados obtidos nem sempre são iguais”. O método B resulta geralmente em valores ligeiramente mais elevados dos que os obtidos pelo método A, podendo esta diferença ser da ordem dos 5 fone. Em psicoacústica utiliza-se geralmente o método B.

O modelo para a sensação auditiva Zwicker foi revisto por Moore e Glasberg [Moore e Glasberg, 1996], tendo sido introduzidas algumas diferenças no método de cálculo dos filtros auditivos (ver Eqs. 2.1 a 2.4), assim como correcções para o tipo de campo e de metodologia do cálculo da excitação sonora, permitindo a reprodução com mais exactidão de vários resultados experimentais.

No que respeita a sons não estacionários, grande parte dos estudos que utilizam este tipo de estímulo é muito recente, assim como os modelos de sensação de intensidade auditiva associados, no entanto a maior parte destes modelos faz uso dos indicadores estatísticos para a determinação da sensação de intensidade auditiva total. O modelo de Zwicker e Fastl [Zwicker e Fastl, 1999] faz uso do princípio utilizado no modelo de sons estacionários, determinando a sensação de intensidade auditiva, para um estímulo sonoro variável no tempo de acordo com a norma ISO 532, em intervalos de 2 ms, e calculando a “sensação de intensidade auditiva apercebida” como o valor máximo medido que é excedido em 10% do tempo (designado também por N_{10}). A constante de tempo de 2 ms está directamente relacionada com a resolução temporal mínima do sistema auditivo. O modelo de Glasberg e Moore [Glasberg e Moore, 2002] utiliza também o modelo de sons estacionários, mas fazendo uso de filtros com uma resposta impulsional finita. A sensação de intensidade auditiva de “curta-duração” representa a sensação apercebida em cada instante. Para a determinação da sensação de intensidade global, podem ser utilizados dois indicadores: o valor máximo STL_{max} e a sensação de audição a longo termo LTL_{Max} , que é calculada a partir de uma integração temporal.

2.3.2.2– Altura de um som (*pitch*) e timbre

A *altura* (*pitch*) é a propriedade em função da qual os sons se classificam em agudos e graves, e traduz fundamentalmente em apreciação auditiva, a frequência do estímulo. Este atributo traduz uma apreciação complexa por parte do auditor, determinada fundamentalmente pela frequência, mas que também depende, em certa medida, da intensidade e da forma de evolução da pressão sonora. Para estímulos que não constituem uma onda periódica ou repetitiva, a *altura* corresponde aproximadamente à média das frequências das componentes. No caso de um estímulo complexo periódico, a sensação de *altura* depende da frequência fundamental desse estímulo.

Existem duas teorias complementares (a teoria da localização e a teoria da periodicidade) que permitem explicar a percepção da *altura* de um som. A teoria da localização admite que a percepção de *altura* está relacionada com a zona da membrana basilar que é excitada pelo sinal sonoro. No entanto, esta teoria não permite compreender a discriminação auditiva fina no domínio da frequência e a ocorrência de sensação de *altura* para estímulos complexos. A teoria da periodicidade admite que a percepção da *altura* decorre da análise dos valores do sinal sonoro em correspondência com os instantes em que são assumidos, o que faculta a obtenção da distribuição espectral correspondente. Porém esta teoria não permite a explicação da percepção da *altura* para estímulos sonoros de frequência superior a 5000 Hz [Silva, 1989].

O “pensamento actual” considera que a teoria da periodicidade permite explicar a percepção da *altura* para estímulos sonoros de frequências inferiores a 50 Hz, enquanto que, para estímulos de frequência superior a 5000 Hz, a percepção da *altura* pode ser explicada pela teoria da localização. Na gama de frequências entre 50 e 5000 Hz, os mecanismos de percepção da *altura* descritos por ambas as teorias desempenham um papel importante [Hartmann, 1997].

A *altura* está relacionada com o conceito de escala musical, em que o intervalo de oitava se divide num determinado número de intervalos. A unidade utilizada para quantificar a sensação subjectiva de *altura* é o mel. A escala de mel corresponde a uma tentativa de encontrar uma escala semelhante à escala de sones, fixando-se o valor de referência de

1000 mel para a *altura* de um som puro com a frequência de 1000 Hz e nível de pressão de 40 dB.

O timbre é uma característica subjectiva que permite diferenciar dois sons de *altura* e intensidades iguais [Silva, 1989]. Pode-se considerar que o timbre resulta da correlação subjectiva de todas as propriedades do som que não influenciam directamente a *altura* e a *sensação de intensidade de audição*, como por exemplo: a envolvente temporal, a distribuição de energia espectral. Refira-se que o timbre é uma das características mais complexas do som, sendo a sua definição muito controversa, de modo que ainda não existe uma nomenclatura uniforme e consistente para a sua identificação e classificação [Henrique, 2007].

2.3.2.3 Agudeza

A primeira formulação do atributo *agudeza* foi efectuada por Bismarck e teve a sua origem em estudos sobre o timbre [Bismarck, 1974]. Resultados de diversas experiências permitiram identificar a distribuição espectral de energia do estímulo sonoro, como parâmetro físico mais importante na quantificação deste atributo. Este facto permitiu a sua distinção dos atributos *altura* e *sensação de intensidade auditiva*. Os parâmetros que mais influenciam a *agudeza* são o conteúdo espectral, a frequência central de sons de banda estreita e correspondente largura de banda. A sensação de *agudeza* é produzida pelas componentes de alta frequência dos sinais acústicos, podendo-se considerar como um indicador do equilíbrio entre as frequências mais elevadas e as mais baixas (quanto maior o conteúdo em altas frequências maior o seu valor). O modelo proposto por Zwicker e Fastl [Zwicker e Fastl, 1999] exprime matematicamente a *agudeza* como o primeiro momento ponderado da distribuição da sensação de intensidade auditiva, utilizando a função de ponderação $g(z)$ e a sensação de intensidade auditiva específica $N'(z)$:

$$S = 0,11 \frac{\int_0^{24} N'(z) g(z) z \, dz}{\int_0^{24} N'(z) \, dz} \quad \text{acum} \quad (2.15a)$$

em que:

$$g(z) = \begin{cases} 1 & \text{para } z \leq 16 \\ 0,066 \times e^{0,171 \times z} & \text{para } z > 16 \end{cases} \quad (2.15b)$$

$$(2.15c)$$

A função de ponderação $g(z)$ permite “avaliar” a incomodidade devida a componentes de alta frequência no estímulo sonoro. Refira-se o facto de este atributo ser uma métrica espectral, independente do nível global do estímulo. A unidade é o acum (originada da palavra do latim *acumem*, que significa agudo, penetrante), correspondendo o valor unitário ao estímulo produzido por um ruído de banda estreita, com a largura de banda igual à banda crítica centrada na frequência de 1 kHz e com um nível de 60 dB. No entanto, dada a dependência do atributo *agudeza* com o nível do estímulo sonoro, foi proposta por Aures [Hartmann, 1997] uma correcção à expressão de Zwicker, traduzida pela expressão:

$$S = 0,11 \frac{\int_0^{24} N'(z)g(z) dz}{\ln(0,05N + 1)} \quad \text{acum} \quad (2.16a)$$

em que

$$g(z) = \begin{cases} 1 & \text{para } z \leq 15,8 \\ 0,15 \times e^{0,42 \times (z - 15,8)} & \text{para } z > 15,8 \end{cases} \quad (2.16b)$$

$$(2.16c)$$

2.3.2.4 Força de flutuação

A *força de flutuação* é o atributo associado à modulação em amplitude e/ou frequência, na zona das baixas frequências (usualmente inferiores a 15 Hz). Este atributo depende da frequência e profundidade de modulação, da frequência central e do desvio em frequência.

A *força de flutuação* é apercebida como variações na frequência e de volume do estímulo ao longo da sua evolução temporal. Sinais com flutuações deste tipo são apercebidos como mais intensos e incomodativos relativamente a sinais estacionários com o mesmo valor eficaz, sendo este efeito mais saliente para frequências de modulação próximas de 4 Hz. A transição entre o atributo *força de flutuação* e *rugosidade* (*roughness*) não é abrupta. De facto, no que respeita a flutuações periódicas do estímulo sonoro, os dois atributos anteriormente referidos só podem ser separados pela frequência de modulação [Zwicker e Fastl, 1999], verificando-se, para frequências de modulação até 20 Hz, a sensação de audição de força de flutuação (traduzida por uma sensação de oscilações no nível sonoro), enquanto que, para frequências de modulação mais elevadas, é

produzida a sensação de *rugosidade* (já não se notam oscilações no estímulo sonoro, mas somente um carácter rugoso) [Zwicker e Fastl, 1999].

A unidade do atributo força de flutuação é o vacil (derivado da palavra latina *vacillare*), correspondendo o valor unitário a um som puro de 1 kHz e nível de pressão sonora de 60 dB, com uma modulação em amplitude de 4 Hz e um grau de modulação unitário. Tal como a *rugosidade*, este atributo não é muito dependente do nível de pressão sonora do sinal.

Matematicamente, a força de flutuação pode ser expressa como:

$$F = 0,008 \frac{\int_0^{24} \Delta L \, dz}{\frac{f_{\text{mod}}}{4} + \frac{4}{f_{\text{mod}}}} \quad \text{vacil} \quad (2.17)$$

em que ΔL é a diferença entre os níveis máximos e mínimos das envolventes do estímulo para cada banda crítica, e f_{mod} é a frequência de modulação. Tal como sucede com a sensação de intensidade auditiva, o valor final é calculado pela integração nas 24 bandas críticas.

Para sons com uma modulação simples, a Eq. (2.17) fornece resultados adequados. No entanto, para sons mais complexos com modulação em amplitude e frequências nas diferentes bandas críticas, os resultados já não são tão bem modelados. Este facto resulta da expressão anterior não reflectir que um acréscimo, em média, do nível de pressão sonora de 40 dB, se traduz, em média, por um aumento de um factor de 2,5 do atributo força de flutuação [Laux, 1998].

Finalmente, refira-se o facto de, num discurso oral, se produzir normalmente uma taxa de 4 sílabas por segundo, o que corresponde a um máximo de frequência de modulação de 4 Hz, o que é precisamente o valor para o qual o atributo de força de flutuação tem um máximo.

2.3.2.5 Rugosidade

Para sons estacionários, o atributo *rugosidade* (*roughness*) é quantificado pela frequência e amplitude de modulação, em função da frequência do estímulo, e independente do tipo de modulação (em amplitude ou frequência). Para baixas frequências de modulação ($f < 20$ Hz) é possível perceber uma variação na sensação de intensidade com o tempo (força de flutuação). A sensação de *rugosidade* de um estímulo sonoro resulta de modulações em amplitude, em frequências compreendidas entre os 15 Hz e 300 Hz. Para frequências de modulação superiores, as componentes do sinal modulado em amplitude passam a ser audíveis separadamente. Este atributo foi inicialmente descrito por Helmholtz em 1863 [Hartmann, 1997]. A sensação de *rugosidade* é maior quando a frequência de modulação é próxima de 70 Hz, pelo que o respectivo valor unitário, $R = 1$ asper (*asper* é a palavra latina que significa áspero) é definido para um som de 1 kHz, com nível sonoro de 60 dB e com uma frequência de modulação aproximadamente igual a 70 Hz e grau de modulação igual a 1.

Um dos modelos mais utilizados para a caracterização deste atributo foi desenvolvido por Aures em 1985 [Hartmann, 1997], exprimindo-se matematicamente pela relação:

$$R = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^{24} \Delta L'(z) z \, dz \quad (2.18)$$

em que $\Delta L'(z) = 20 \log_{10}(N_{\max}/N_{\min})$, em que N é a sensação de audição específica. Zwicker [Hartmann, 1997] redefiniu esta equação de modo a incluir a frequência de modulação, a qual passou a ser expressa por:

$$R = 0,3 f_{\text{mod}} \int_0^{24} \Delta L'(z) z \, dz \quad (2.19)$$

Para sons com modulação em amplitude, foram efectuadas outras tentativas para a modelação deste atributo que incluem a identificação de picos de banda estreita. No entanto, e até ao momento, não existe um procedimento normalizado para o seu cálculo.

2.3.4 Caracterização de sons com características tonais

Existem diversas abordagens para quantificar a existência de informação tonal presente num estímulo sonoro. Nos anos 60, do século XX, foram desenvolvidas algumas métricas

para medir o nível (sensação de intensidade) de sons que incluem informação tonal significativa, como por exemplo o ruído de tráfego aéreo e o ruído de sistemas de refrigeração do ar. Em aplicações no domínio do controlo do ruído ambiente, existem diversos procedimentos para quantificar o acréscimo na incomodidade provocado por sons com conteúdo tonal, tendo sido publicado em 2007 um método de referência, designadamente na norma ISO 1996-2 (Anexo C, método objectivo para a avaliação da audibilidade de componentes tonais no ruído). Apresentam-se algumas abordagens para a avaliação de componentes tonais em estímulos sonoros:

A razão som tonal-ruído (*tone to noise ratio*, T_{NR} , definida na norma ISO 7779, publicada em 1988) é calculada a partir da razão entre a potência do som tonal (W_t) na banda crítica centrada na frequência da componente tonal, e a potência total do ruído (W_n) na mesma banda crítica, mas sem a presença do som tonal, como se apresenta na Eq. (2.20) :

$$T_{NR} = 10 \times \log_{10} \frac{W_t}{W_n} \quad \text{dB} \quad (2.20)$$

Se esta razão atinge um valor de 6 dB ou superior, o som tonal é considerado emergente no som global. Embora o procedimento pareça fácil, no caso de sons com várias componentes tonais ou no caso de esta componente não ser estacionária, mas sim modelada em frequência, não é possível o cálculo de W_n a partir da subtracção de W_t ao ruído total.

A *razão de emergência* (*prominence ratio*, PR) foi desenvolvida de modo a constituir um procedimento de maior facilidade de implementação e com uma melhor correlação com as respostas subjectivas, relativamente ao descritor anterior para a caracterização da percepção de estímulos sonoros que contém componentes tonais. A “razão de emergência” é a razão entre a potência total na banda crítica que contém o som tonal e a potência média das bandas críticas imediatamente adjacentes, definida pela expressão

$$T_{PR} = 10 \log_{10} \left(\frac{W_{tot}}{0,5(W_L + W_U)} \right) \quad \text{dB} \quad (2.21)$$

em que W_{tot} é a potência total do som tonal e do ruído, na banda crítica centrada na frequência do som tonal e W_L e W_U é a potência total do ruído nas bandas críticas adjacentes, respectivamente inferior (L) e superior (S) da banda que contém o som tonal.

Contudo, a dificuldade de calcular a tonalidade de sons com várias componentes tonais ainda permanece.

O método para o cálculo da tonalidade desenvolvido por Aures, tem em conta a frequência, a largura de banda e o nível de todas as componentes tonais, assim como o efeito do ruído [Prante, 2002].

2.3.5 Indicadores compostos

Para a previsão do impacto global de um estímulo sonoro no auditor humano, existem uma grande diversidade de modelos, variando entre a classificação da percepção do som produzido por uma máquina específica, até à formulação de modelos que permitem quantificar a perturbação (ou interferência) do ruído de fundo com a comunicação verbal. Uma metodologia de actuação para o estabelecimento de modelos de percepção de sons complexos [Zwicker & Fastl, 1999], baseia-se no cálculo dos atributos auditivos elementares, sendo posteriormente combinados numa quantidade que apresenta uma maior correlação com a resposta humana que se pretende modelar.

Em estudos sobre a qualidade sonora muitas vezes o objectivo é a avaliação de um som relativamente à sua agradabilidade/desagrado ou à sua incomodidade. Embora o desagrado e a incomodidade estejam relacionados, não se pode considerar que sejam termos idênticos, dependendo o seu exacto significado do idioma utilizado. Em termos gerais pode considerar-se que o desagrado se refere a uma avaliação instantânea de uma situação (ou som), enquanto que, o termo incomodidade se refere a um conceito mais amplo, quer do ponto de vista do âmbito quer do ponto de vista do domínio temporal. Em inglês, o termo “incómodo” reflecte não só o desagrado, mas também algum grau de perturbação. Em Alemão, o termo “*Uistigkeit*” reflete principalmente uma atitude de avaliação relativamente a uma fonte sonora, mas também uma avaliação sobre a necessidade do som (caso os indivíduos considerem que um som poderia ser evitado, este é apercebido como mais incomodativo). Apresentam-se de seguida alguns dos indicadores compostos mais utilizados.

2.3.5. 1 Incomodidade sensorial (*unbiased annoyance*)

Ao longo dos anos, têm sido discutidas muitas abordagens de natureza multidisciplinar para a conceptualização e definição da incomodidade ao ruído. No entanto, esta tarefa não é fácil, uma vez que o conceito de incomodidade pode ter diferentes significados, dependendo da linguagem utilizada e contexto cultural onde o indivíduo se insere. Tendo em conta esta problemática e focalizando-se somente na base psicoacústica, Zwicker e Fastl [Zwicker & Fastl, 1999], introduzem o conceito de incomodidade sensorial (*UnBiased Annoyance*, UBA). Este conceito corresponde à resposta, em termos de incomodidade, apresentada pelos indivíduos exclusivamente devida ao estímulo, em condições de laboratório, e onde a relação com a natureza da fonte sonora não está presente, ou seja, tenta desvincular uma possível relação entre o auditor e a fonte sonora, o que poderia gerar enviesamentos (ou *bias*, em Inglês, tendência a desviar sistematicamente a avaliação em determinado sentido devido à propensão, predisposição ou susceptibilidade por parte do indivíduo). O modo de eliminar esta dependência foi a utilização de ruídos que não fossem reconhecíveis. Este conceito foi elaborado tendo em conta a hipótese que a incomodidade é somente provocada pelos sons, eliminando outros tipos de interacção sensorial, e que o tipo de estímulos sonoros utilizados são perfeitamente descritíveis e reproduzíveis (com o mesmo tipo de campo sonoro, mesma evolução temporal e frequência). A Eq. (2.22a) apresenta o modelo matemático deste indicador, onde é incluído um factor de correcção d relativo ao período do dia (e que traduz o facto de o ruído tender a ser mais incómodo durante o período nocturno, devido a tendência de perturbar o sono e a possibilidade acrescida de não ser tão facilmente mascarado por outros sons).

$$UBA = dN_{10}^{1,3} \left\{ 1 + 0,25(S-1) \cdot \log_{10}(N_{10} + 10) + 0,3 \left(F \frac{1 + N_{10}}{N_{10} + 0,3} \right) \right\} \text{ dB} \quad (2.22a)$$

$$d = \begin{cases} 1 & \text{entre 06h e 22 h} \end{cases} \quad (2.22b)$$

$$\begin{cases} 1 + \sqrt{\frac{N_{10}}{5}} & \text{entre as 22 h e 06 h} \end{cases} \quad (2.22c)$$

N_{10} representa a sensação de intensidade auditiva que é excedida em 10% do tempo, S a *agudeza* e F a *força de flutuação*. Zwicker propõe a utilização da unidade de incómodo,

au, correspondendo o valor unitário ao incómodo produzido por um som puro de 1 kHz e com um nível de 40 dB.

2.3.5.2 Incomodidade psicoacústica

Outro indicador que resulta da combinação de vários atributos é a *incomodidade psicoacústica* (*Psychoacoustic Annoyance*, PA), introduzida por Widmann em 1998, com o objectivo de descrever quantitativamente a classificação do incómodo em experiências no âmbito da psicoacústica [Zwicker & Fastl, 1999]. Saliente-se que, em condições de laboratório, nem sempre todos os factores que contribuem para a incomodidade ou agradabilidade de um estímulo sonoro podem ser avaliados. Este indicador depende da sensação de intensidade auditiva N_5 que é excedida em 5% do tempo, da *agudeza* S e força de flutuação F , e da *rugosidade* R , sendo definida como:

$$PA = N_5 (1 + \sqrt{w_s^2 + w_{FR}^2}) \quad \text{dB} \quad (2.23a)$$

Em que os termos w_s e w_{FR} descrevem respectivamente os efeitos da *agudeza*, força de flutuação e *rugosidade*:

$$w_s = (S - 1,75) \times 0,25 \log_{10}(N_5 + 10) \quad \text{para } S > 1,75 \quad \text{acum} \quad (2.23b)$$

$$w_{FR} = \frac{2,18}{N_5} \times (0,4F + 0,6R) \quad (2.23c)$$

Do ponto de vista perceptual, pode-se dizer que a incomodidade psicoacústica é fortemente influenciada pela sensação de intensidade auditiva e pela *agudeza*. A sensação de intensidade auditiva descreve a potência e o volume de um som, enquanto que a *agudeza* está mais directamente relacionada com a tonalidade. Os restantes atributos auditivos, *força de flutuação* e *rugosidade*, estão relacionados com as variações temporais do som [Fastl, 2007]. A utilização deste indicador na classificação da incomodidade devido a sons sintetizados e diversos tipos de sons técnicos, como, por exemplo, ruídos de viaturas, de sistemas de ar condicionado, etc., permite descrever os resultados obtidos nas experiências psicoacústicas. No caso de se pretender a descrição

da sensação auditiva global, o percentil da sensação de intensidade de audição N_5 é um bom indicador para diversos tipos de emissões sonoras, como por exemplo o ruído de tráfego rodoviário, ferroviário, ruído industrial e ruído decorrente de actividades de lazer.

2.3.5.3 Agradabilidade sensorial (*Plesantness*)

Terhard e Stoll identificaram a *agudeza*, a *rugosidade* e *tonalidade* como atributos importantes para a sensação de agradabilidade [Prante, 2002]. O conceito de *agradabilidade* (*plesantness*) de Terhardt representa a ausência de factores incomodativos e não é limitada a sons musicais. É importante notar que esta concepção só responde, por definição, a sensações de audição elementares, não contabilizando a influência de factores não-auditivos (daí a designação de sensorial). Continuando o trabalho de Terhard e Stoll, Aures concebeu o modelo matemático para a previsão da agradabilidade, fazendo uso dos atributos já anteriormente referidos, e incluindo a sensação de intensidade auditiva [Prante, 2002]. Nas suas experiências, Aures, para além dos estímulos sonoros utilizados nas experiências de Terhard e Stoll, fez uso de vários tipos de sons sintéticos.

$$P = e^{-0,55R} e^{-0,113S} (1,24 - e^{-2,2K}) e^{-(0,023N)^2} \quad (2.24)$$

representando R a *rugosidade*, S a *agudeza*, K a *tonalidade* e N a sensação de intensidade auditiva.

Embora a *agradabilidade sensorial* (*sensory plesantness*) e a *incomodidade psicoacústica* se possam pensar como extremos opostos de uma escala de classificação de sons, os seus modelos são compostos por atributos distintos, sendo importante em aplicações práticas ter algum cuidado com a utilização destes conceitos [Fastl, 1998]. De facto, com o aumento da sensação de intensidade auditiva, *agudeza* e *rugosidade*, a *agradabilidade* sensorial diminui enquanto a *incomodidade* aumenta. No entanto com o aumento da *tonalidade*, quer a *agradabilidade* sensorial quer a *incomodidade* aumentam. Por exemplo, no caso da música e da conversação, a *tonalidade* tem um impacto positivo, enquanto que, no que respeita à *incomodidade*, o aumento das componentes tonais pode ser tão crítico que talvez seja preferível a sua eliminação.

2.4- Dimensões da audição

Um dos factores chave nos problemas de ruído é o conteúdo informativo de um som que está directamente relacionado com a sua identificação [Namba, 1996]. No entanto, numa perspectiva global, os julgamentos de um determinado som, não dependem só do próprio som. Para além das referidas influências cognitivas, outros factores internos influenciam o julgamento do indivíduo perante um determinado som, como por exemplo, o estado de alerta, a actividade desenvolvida durante a sua escuta, a possibilidade de acção [Guski, 1997], relaxamento, emoção, atitude pessoal para com o som etc. Adicionalmente, a influência de factores externos, como, por exemplo: propriedades não-acústicas do ambiente, como o brilho, temperatura ou humidade, criam efeitos cruzados no julgamento no som [Prante, 2002].

No entanto, embora o julgamento auditivo de um som seja influenciado pelas características pessoais, vários estudos mostraram que indivíduos diferentes usam normalmente dimensões idênticas, na descrição da percepção auditiva por meio da técnica do diferencial semântico [Zeitler, 2002]. A técnica do diferencial semântico [Osgood, 1952] foi desenvolvida para a medição dos significados conotativos e afectivos de expressões verbais [Kuwano e Namba, 2001]. Utilizando a técnica do diferencial semântico e realizando posteriormente uma análise factorial (a análise factorial não é constituída por um único procedimento matemático, mas deve ser entendida como um termo genérico que engloba procedimentos diversos para a extracção de relações entre grupos de variáveis) das respostas obtidas, é possível o agrupamento destas respostas em factores independentes (ou dimensões principais). Neste caso, considerando que as expressões verbais recorrem à percepção auditiva, os factores assim obtidos podem ser considerados como dimensões principais de audição, que incluem também os aspectos emocionais e cognitivos.

Aplicando a metodologia anteriormente descrita com diversos tipos de estímulos e indivíduos (ruído emitido por helicópteros, sons ambientais, ruído emitido por carros em desaceleração, etc.), [Kuwano e Namba, 2001] obtiveram 3 factores independentes: potente, metálico e agradável, a que designou por “dimensões da qualidade sonora”. No que respeita à relação entre estes 3 factores e os descritores psicoacústicos, verificou-se que o factor potente está correlacionado com os parâmetros derivados da intensidade sonora, constatando-se que o nível de sensação de intensidade auditiva (ISO 532,1975)

é melhor descritor que o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, $L_{Aeq,T}$, de facto nas experiências efectuadas verificou-se que sons com igual valor de $L_{Aeq,T}$ produzem diferentes escalonamentos na escala diferencial potente-fraco. No que respeita ao factor metálico, Namba identificou uma forte correlação com o atributo *agudeza*, definido por Bismark [Kuwano e Namba, 2001]. No entanto, para o factor agradável, não foi possível identificar um único atributo em termos de correlação significativa com os parâmetros psicoacústicos, embora exista um modelo para a agradabilidade sensorial que combina os atributos auditivos de sensação de intensidade sonora, *agudeza*, *rugosidade* e *tonalidade* proposto por Aures [Aures, 1985]. Devido a este modelo não ter em conta qualquer influência de natureza não auditiva, Namba conclui que, para sons do mundo real, o factor “agradável” é amplamente influenciado pelas características individuais, não podendo ser previsto somente pelos atributos auditivos.

Num outro estudo onde se pretendia integrar sons com um conjunto variado de propriedades tais como intensidade sonora, elevado conteúdo em frequência altas, componentes tonais, modulação, assim como variações de natureza temporal, rápidas e lentas, foram seleccionados 25 sons provenientes de um espectro de sons do quotidiano [Johannsen e Prante, 2001]. Estes sons estendiam-se desde sons da natureza (sons do mar, som de quedas de água), sons provenientes do tráfego rodoviário, de crianças a brincar, sons “mecânicos” (como por exemplo uma broca de dentista). Todos os sons foram registados em modo binaural e, nas sessões de escuta realizadas, reproduzidos por meio de auscultadores, tendo havido o cuidado de preservar o nível de intensidade original de cada som (para este efeito foi sempre registado com cada som, um som de calibração, assegurando-se que a reprodução era efectuada com o nível de audição adequado). Para todos os sons foram determinados descritores físicos (nível de pressão sonora, com ponderações linear, A, e C, nível sonoro contínuo equivalente e níveis percentis) e os descritores psicoacústicos (*agudeza*, força de flutuação, sensação *de intensidade auditiva*, etc.) Aplicando a técnica do diferencial semântico e efectuando de seguida uma análise de componentes principais, foram extraídos 6 factores que cobrem cerca de 72,4% da variância total dos dados, designadamente os factores agradável, metálico, rugoso, potente, flutuante e distinto. Estes resultados confirmaram resultados anteriores, onde os factores agradável, potente, e metálico são usualmente obtidos. No entanto, devido ao amplo espectro de sons ambientais utilizado, emergiram neste estudo dois factores adicionais, *rugosidade* e *força de flutuação*. Posteriormente, verificou-se que, à excepção do descritor da *sensação de intensidade auditiva*, que é correlacionado

com o factor potente (coeficiente de correlação $r = 0,9$), a relação entre as dimensões da audição e os descritores psicoacústicos não é unívoca, estando estes descritores mais ligados com a descrição de propriedades de certos sons.

2.5 - Métodos de apresentação de sons aplicados em psicoacústica

O desenvolvimento tecnológico durante as últimas décadas conduziu à existência de uma grande variedade de métodos e ferramentas disponíveis para apoio à realização de medições e para o estabelecimento de novas metodologias de cálculo. Bodden [Bodden, 1997], apresentou uma súmula dos progressos nos diferentes métodos para aquisição, análise e manipulação de sinais, incluindo os desenvolvimentos recentes no domínio da simulação do campo sonoro. A identificação dos atributos auditivos pertinentes e respectiva quantificação é uma actividade de interesse em diversos ramos de investigação em qualidade sonora, como por exemplo, no *design* sonoro de produtos ou na avaliação de sistemas de reprodução sonora. Deste modo, a par com o desenvolvimento da instrumentação associada, também é necessário desenvolver investigação na aplicação de métodos psicométricos e metodologias associadas.

Existem métodos de escalonamento indirectos, caracterizados por só requererem julgamentos qualitativos simples aos participantes em sessões de escuta de estímulos sonoros (ao invés dos julgamentos numéricos complexos em procedimentos de escalonamento directo) e dispondo de testes embutidos para a validação da metodologia teórica utilizada. Em procedimentos de escalonamento indirectos, a escala numérica ou a representação dos atributos são derivadas a partir da modelação dos julgamentos dos auditores.

De uma diversidade de métodos, irão ser abordados nesta dissertação os seguintes: o método de "acesso aleatório", o método "apreciação de magnitude" e a técnica de "diferencial semântico".

O método de acesso aleatório é um procedimento de classificação. Neste caso, a tarefa do auditor consiste na ordenação dos sons em estudo segundo um determinado parâmetro. O auditor tem um livre acesso a cada um dos sons, sendo permitida a audição de cada som quantas vezes o necessário, de modo a efectuar a sua ordenação e possível correcção da sequência resultante, até ser obtido o resultado pretendido.

Quando se utiliza um método de acesso aleatório, a grande liberdade do sujeito no acesso aos sons a serem objecto de classificação, é uma das razões pelas quais este procedimento é usualmente utilizado para uma classificação rápida da qualidade sonora de um produto.

No método de apreciação de magnitude são apresentados pares de sons. Neste caso, o primeiro som é designado por “som de âncora”, e o segundo por “som de teste”. Ao longo de uma experiência, o som de âncora é mantido constante, enquanto se varia o som de teste. Ao som de âncora é atribuído um valor numérico relativamente a um atributo auditivo, por exemplo o valor de 100 relativo à *sensação de intensidade auditiva*, e a tarefa do auditor é designar um valor numérico para o segundo som, que deve ser representativo da relação entre as magnitudes dos dois sons (por exemplo se o segundo som é percebido como 30 por cento mais macio que o som âncora, a resposta do auditor deveria ser 70. A partir da utilização desta técnica, é possível obter uma relação directa entre magnitudes. As diferenças entre as respostas de diferentes indivíduos (inter-individuais) e do próprio (intra-individuais), não são superiores a 10%. Porém, às vezes a escolha do som de âncora pode influenciar significativamente os resultados obtidos, pelo que é sugerida a utilização de, pelo menos, dois sons âncora, um com um valor elevado da grandeza em apreciação e outro com um valor mais pequeno.

O método de diferencial semântico é utilizado, por exemplo, para testar se os sons são satisfatórios para um determinado propósito. Apresentam-se no Quadro 2.1 um exemplo das escalas de adjectivos utilizadas num estudo internacional [Kuwano e Namba, 2001] para sinais de alerta.

Cada um dos métodos apresentados tem vantagens e desvantagens. O método de acesso aleatório e a técnica diferencial semântica fornecem descrições mais qualitativas da percepção sonora, enquanto que, se o objectivo do estudo for uma apreciação de natureza quantitativa, a utilização da técnica de apreciação de magnitude é recomendada. No entanto, é necessário ter em conta a influência da escolha do som âncora.

Tabela 2.1- Exemplos de escalas de adjectivos antónimos

Escalas dos adjectivos	
Forte	Fraco
Penetrante	Agudo
Agradável	Desagradável
Calmo	Emocionante
Claro	Escuro
Alto	Baixo
Distinto	Vago
Tenso	Relaxado
Movimentado	Tranquilo

Um dos comportamentos mais usuais quando uma pessoa ouve um som é a tendência para a identificação da fonte sonora ou, pelo menos, a tentativa de recordar sons similares. Neste contexto, uma das técnicas utilizada em psicoacústica consiste na aquisição de descrições espontâneas sobre o som, sem restrições de formato para a sua resposta [Guski, 1997]. Utilizando a técnica de análise de conteúdo é possível a interpretação em várias etapas (que se encontram documentadas) do “material” verbal, que devem ser controladas por indivíduos independentes. Um exemplo deste tipo de abordagem qualitativa é a utilização da “*grounded theory*”, cujo principal objectivo é a identificação de uma categoria fundamental (por exemplo um risco percebido de uma fonte ambiental) e o estabelecimento de relações com outras categorias. Este método é constituído por várias etapas, ao longo das quais o texto é analisado repetidamente: na primeira etapa, designada por “codificação aberta”, são identificados indicadores, palavras, frases ou orações relativas às hipóteses teóricas; na segunda etapa, designada por “codificação axial”, os indicadores são relacionados entre si; na terceira etapa, é estabelecida a relação com conhecimentos que não estejam referenciados no texto; e, na quarta etapa, tenta-se aplicar os resultados obtidos em novas amostras. Numa abordagem quantitativa da análise de conteúdo, são efectuadas identificações da frequência de utilização de uma palavra (ou proposição, que se acredita que representam a avaliação de determinados conceitos) ou então realiza-se uma análise de contingências entre diferentes categorias de conteúdo (como, por exemplo, entre as categorias físicas e

as descrições verbais de um som), sendo posteriormente construído um sistema de categorias abstractas de classes de respostas que são comparáveis entre indivíduos.

Nos estudos de psicoacústica, muitas vezes o objectivo principal é o estabelecimento da relação psicofísica entre o atributo físico e o psicológico do estímulo sonoro. Para este efeito, existe uma pré-selecção da variável física em estudo (por exemplo, a *rugosidade*, tal como é definida pelo correspondente modelo matemático), pretendendo-se estudar a percepção dos indivíduos relativamente a um atributo psicológico de som (por exemplo, a *rugosidade* ou *claridade*), utilizando uma escala unidimensional. Muitas vezes, no uso desta técnica unidimensional, o mesmo estudo integra também a classificação de outros atributos, desde que as escalas utilizadas não tenham relação entre si. No entanto, quer o tipo de concepção do estudo, quer o formato das escalas utilizadas, podem ser muito variados [Guski, 1997]. No lado da concepção, pode-se escolher entre o método de apresentação de sons numa sequência aleatória, em que a tarefa do auditor consiste na ordenação dos sons em estudo segundo um determinado parâmetro, com um acesso livre, sendo permitido para o cumprimento desta tarefa a audição de cada som, quantas vezes o necessário, de modo a corrigir a respectiva sequência até ser obtido o resultado pretendido). Pode também optar pelo método de apresentação de sons em pares, ou pelo método de escalonamento contínuo, onde se vai variando continuamente e aleatoriamente o atributo físico do estímulo. Neste caso, a correspondente classificação obtida também é efectuada de modo contínuo, a partir de um equipamento electrónico devidamente projectado para o efeito. Em cada um destes métodos, é sempre necessário ter em atenção o modo de se evitar a introdução de tendências, derivadas dos efeitos decorrentes da sequência de apresentação dos estímulos e da sua frequência. Com a intenção de se avaliar a consistência dos resultados, frequentemente os pares de estímulos são apresentados uma segunda vez, mas em ordem inversa. Refira-se o facto de o método de comparação de pares de estímulos ser mais simples, para indivíduos não treinados, uma vez que lhes são solicitadas avaliações relativas. Este método é considerado razoavelmente livre de enviesamentos (*bias*), aquando comparado com os métodos de escalonamento directo. No entanto, é importante controlar a sequência de apresentação dos pares. Uma das principais desvantagens deste método é o número de pares que é necessário apresentar, existindo, porém, algumas técnicas que permitem a sua redução.

No que respeita ao formato de escalas utilizadas, existem 3 tipos de procedimentos: O método de “apreciação de magnitude” (vide página 2.33), o método de “apreciação unidimensional directa em intervalos iguais” e o método de “escalamento de categorias por divisão em compartimentos”.

No método de apreciação unidimensional directa em intervalos, os indivíduos atribuem aos intervalos de estímulos em apreciação um conjunto restrito de números (muitas vezes combinado com rótulos para a quantificação da escala verbal de avaliação). Neste caso, apresenta-se em primeiro lugar toda a gama de possíveis estímulos, conjuntamente com a instrução para a utilização da gama completa de intervalos da escala, devendo-se atribuir a mais baixa avaliação ao estímulo apercebido como mais baixo, na intensidade do atributo em avaliação. Com base nesta suposição, pode-se calcular médias aritméticas para o estabelecimento da tendência central das avaliações, em termos de escalas de valor dos estímulos. Geralmente, assume-se que sujeitos sem treino podem efectuar estas tarefas, desde que os intervalos da escala variem entre 3 ou 7 (utilizando-se normalmente um número ímpar de passos, de modo a não forçar os indivíduos a escolher entre avaliações baixas e elevadas). Outros estudos utilizam escalas verbais, com 4 etapas, designadas usualmente por: 1) absolutamente nada; 2) um pouco 3) muito e 4) insuportavelmente ruidoso, em que os rótulos verbais servem de âncora para as avaliações. No entanto, no caso de um idioma em que não existam estudos que suportem os adjectivos nas etapas intermédias das escalas (usualmente utilizam-se 5 etapas), é preferível a utilização de escalas numéricas, em que são colocados rótulos no início e final da escala, aos quais podem estar associados sinais (++) e (--).

O método de escalamento por subdivisão de categorias consiste basicamente numa mistura dos dois métodos anteriores e é constituído por duas etapas distintas: na primeira, é solicitado aos indivíduos que avaliem o estímulo a partir da escolha de uma de cinco categorias verbais base, e na segunda que efectuem um refinamento da sua escolha, a partir da classificação dentro de cada categoria base de uma subdivisão possível, utilizando-se usualmente 10 divisões em cada subcategoria. Adicionalmente, podem existir mais 2 categorias nos extremos de cada categoria base. Os métodos de apreciação unidimensional directa, em intervalos e de escalamento por subdivisão de categorias, têm sido criticados por razões diversas, designadamente por não fornecerem escalas adequadas de sensação e pelo espaçamento dos estímulos ter sido identificado como um factor de introdução de enviesamentos nas medições. Deste modo, é sugerido

que os métodos baseados em intervalos sejam utilizados quando os factores de contexto estejam controlados. Refira-se que este tipo de métodos são de realização simples por indivíduos não treinados e o uso de rótulos verbais não só fornece uma âncora para a escala que contraria os efeitos contextuais, mas também permite a expressão da medição em linguagem corrente.

No entanto, na análise de estímulos sonoros, estes podem ser classificados tendo em conta vários atributos simultaneamente, e muitas vezes a alteração de uma variável física num atributo (por exemplo, *rugosidade*) não só muda a percepção deste atributo, como de atributos relacionados (por exemplo, *timbre* e *altura*). Para o efeito, pode-se solicitar aos indivíduos para avaliarem um conjunto de atributos perceptuais do estímulo sonoro (por exemplo, a sensação de intensidade auditiva, vivacidade, riqueza, claridade, proximidade, suavidade, proximidade ou extensão), utilizando-se uma das técnicas unidimensionais descritas, para cada atributo, sendo a avaliação nas várias escalas sujeita a uma análise de regressão múltipla. Esta técnica apresenta ainda a vantagem de possibilitar a escolha de diferentes termos para a descrição da mesma dimensão, o que permite uma análise da fiabilidade do estudo (entendida como a propriedade estatística das respostas no que respeita à sua estabilidade temporal), assim como a utilização de adjectivos descritivos para o estímulo sonoro, em que o indivíduo pode escolher, de entre um conjunto vasto de adjectivos, apenas aqueles que considera mais apropriados (método designado por “descrição selectiva”).

A análise multidimensional também se pode realizar a partir de avaliações de semelhança, solicitando-se neste caso o escalonamento do grau de semelhança entre pares de sons. As avaliações de semelhança são sujeitas à técnica estatística de análise multidimensional (*MultiDimensional Scaling*), obtendo-se, como resultado da análise de MDS uma localização do estímulo sonoro num espaço multidimensional, que normalmente tem menos de 5 dimensões. Uma das grandes desvantagens deste método é não se saber o significado exacto de cada dimensão. Outro tipo de técnica multidimensional é a do diferencial semântico.

[Osgood, 1952] desenvolveu a técnica do diferencial semântico para a medição do significado conotativo de certos conceitos verbais. Esta técnica consiste na utilização de um conjunto de escalas bipolares, onde cada *item*, conjuntamente com o seu antónimo, se correlaciona com uma dimensão ou atributo perceptual do fenómeno em avaliação. O

indivíduo avalia o grau de correspondência entre o conceito e cada *item* conotativo da lista, representando cada par de adjetivos uma única dimensão e a lista completa todo o espaço conotativo dos conceitos que são sujeitos a comparação. Um aspecto importante diz respeito à distinção entre o significado conotativo e denotativo de um conceito. O termo “significado conotativo” refere-se essencialmente às componentes emocionais e componentes avaliativas que estão associadas a um dado conceito ou objecto. [Osgood, 1952], inclusivamente, utiliza o termo “significado afectivo” de modo a enfatizar a existência de um valor emocional ligado com a percepção, colocando a hipótese segundo a qual partes do significado decorrente do estímulo em apreciação estão condicionadas pelas expressões linguísticas utilizadas em cada idioma. Pelo contrário, a componente denotativa de um estímulo refere-se às características do objecto que podem ser objectivadas, como por exemplo, a partir de uma medição física. Um outro patamar teórico base da técnica do diferencial semântico é o modelo espacial, segundo o qual se pressupõe que um dado conceito se localiza num espaço, composto por “n” dimensões ou factores. Dessas dimensões, destacam-se três, tidas como dimensões universais do conceito. São elas: avaliação, potência e actividade, designadas sigla anglo-saxónica EPA (*Evaluation, Power e Activity*) .

Lawrence Solomon foi o primeiro aplicar a técnica de Osgood a estímulos sonoros, e desde 1974, é muito comum a utilização da técnica do diferencial semântico na avaliação de estímulos sonoros. Transpondo o modelo espacial de três dimensões do significado afectivo para conceitos de natureza verbal de Osgood (avaliação, potência e actividade), os estudos em acústica revelam outras dimensões, normalmente duas ou três, relacionadas com a percepção do estímulo sonoro [Zeitler, 2002].

No campo da qualidade sonora, os estudos que utilizam a técnica do diferencial semântico têm como objectivo medir os aspectos conotativos do significado, ou seja, as qualidades dos estímulos sonoros e as percepções do indivíduo relativamente às características do som [Zeitler, 2002]. Como técnica de investigação em estudos de qualidade sonora, o diferencial semântico possibilita uma compreensão multidimensional das características perceptivas e subjectivas da experiência auditiva. Por exemplo, associa-se à palavra “avião” os adjetivos “potente”, “perigoso”, “perturbador”. Estas associações não são só estabelecidas com o som real em si, mas sim com a palavra “avião”. Se um estímulo sonoro desconhecido para o auditor for considerado semelhante

ao som de um avião, ou recordar o som correspondente, então o seu significado conotativo está associado ao termo “avião”.

2.6 Aplicações da psicoacústica

Um exemplo de um estudo sistemático sobre o impacto psicológico da passagem de veículos nos auditores é o trabalho realizado no projecto de investigação alemão “*Silent Traffic*” [Bisping, 2007], com a finalidade de estabelecer uma ligação entre os efeitos perceptuais e as especificações técnicas de veículos, com o objectivo de retirar conclusões relativas a possíveis opções para a optimização do ruído emitido. Para este efeito, foram registados em modo binaural os ficheiros áudio associados às passagens de três carros de passageiros e dois veículos pesados. Os registos áudio foram posteriormente avaliados numa sessão de escuta por 27 indivíduos, no que respeita aos seguintes atributos: *sensação de intensidade auditiva, potência e altura*. Posteriormente, foi efectuado um tratamento estatístico utilizando o método de análise de variância ANOVA. Os dados obtidos recomendam a focalização da optimização da qualidade sonora na emissão sonora providente do silenciador do tubo de escape, essencialmente concentrado nos valores acima de 500 Hz [Bisping, 2007].

Um outro tipo de aplicação consistiu na avaliação da percepção ao ruído devido à circulação de veículos motorizados em camadas superficiais de betão betuminoso e betão cimento, em pavimentos utilizados em auto-estradas, com a finalidade de determinar a natureza e tipo das diferenças encontradas [Watts, 1996]. Para o efeito, foram registados e reproduzidos o ruído produzido pelo tráfego rodoviário nos dois tipos de pavimentos, tendo sido os registos áudio avaliados pela utilização da técnica de comparação de pares de sons (os sons são apresentados aos pares, com uma duração de 10 s e o indivíduo tem de decidir qual é o mais ruidoso). Paralelamente, também foram efectuadas medições da textura de cada camada superficial do pavimento. Os resultados obtidos mostraram que, em média, o ruído da passagem de tráfego nas camadas superficiais de betão cimento era avaliado como mais ruidoso do que a correspondente passagem de tráfego nas camadas superficiais de betão betuminoso. Adicionalmente, também foi constatado que, no caso de se proceder a um ajuste dos estímulos sonoros, de modo a obter-se o mesmo valor de nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, as diferenças obtidas eram muito menores, verificando-se ainda uma redução desta

diferença, no caso em que o ajuste era efectuado na escala da sensação de intensidade auditiva.

Em ultimo lugar, vale a pena fazer referência a um estudo, utilizando experiências no âmbito da psicoacustica, associadas à redução do ruído de tráfego rodoviário, a partir da utilização em pavimentos rodoviários com camadas de desgaste com características de absorção sonora distintas, [Fastl *et al.*, 2007]. Para o efeito foi avaliada, pela técnica de estimação de magnitude (modo livre), a sensação de intensidade auditiva de sons (com a duração de 4 segundos) relativos a passagem de veículos em diferentes camadas superficiais com características de absorção sonora distintas, relativamente à sensação sonora produzida no pavimento rodoviário “padrão” descrito na norma ISO 10844 [ISO 10847, 1997]. Neste estudo, foram realizados dois conjuntos distintos de experiências. No primeiro, foi sempre utilizado o mesmo par de pneus e, no segundo conjunto, foi utilizado o mesmo pavimento, mas com circulação de um veículo com diferentes pares de pneus. Os resultados obtidos permitiram constatar que as avaliações subjectivas relativas à redução do ruído utilizando camadas de desgaste com características absorventes sonoras estão bem correlacionadas com as correspondentes medições físicas a partir da utilização do percentil de 5% da sensação de intensidade auditiva (N_5). Adicionalmente, verificou-se que, quando se utilizam medições em dB(A), a utilização da regra “uma diminuição de 10 dB equivale a uma redução para metade da sensação de intensidade auditiva”, pode conduzir a uma sobrestimação da percepção do ruído, uma vez que é necessário ter em conta o tipo de atenuação espectral associada.

Capítulo 3 : Avaliação do ambiente sonoro em zonas urbanas

3.1 Caracterização do ruído urbano

3.1.1 Introdução

Os problemas associados ao ruído em zonas urbanas não são recentes. Desde o tempo dos romanos que existem manifestações de incomodidade induzidas pelo ruído, em particular, associadas à circulação de carroças com rodas de ferro, nos pavimentos empedrados, principalmente no período nocturno. Em algumas cidades da Europa medieval não era permitido a circulação de carruagens a cavalos durante a noite, de modo a não perturbar o sono dos seus habitantes [Berglund *et al.*, 2000]. Embora hoje em dia a reivindicação ao direito ao sossego seja mais evidente, ela existiu desde sempre. De facto, depois do último conflito mundial e com o desenvolvimento industrial suscitado pelo avanço económico, a apreciação que os indivíduos têm do seu ambiente quotidiano vai evoluindo no sentido de uma maior susceptibilidade ao ruído, a par com o significado atribuído à expressão “poluição sonora”. A problemática do ruído é significativa, estimando-se que, nos países da União Europeia, 40% da população se encontra exposta a níveis sonoros, devido ao ruído de tráfego rodoviário, superiores a 55 dB(A), durante o dia, e 30% expostos a níveis superiores a 65 dB(A) [Berglund *et al.*, 2000].

Considerando actualmente a tendência de expansão das cidades, o aumento do volume de tráfego de veículos associado e também o aumento da densidade da malha urbana, pode-se dizer-se que os problemas associados ao ruído têm tendência a agravar. O ruído predominante nas cidades tem origem no tráfego rodoviário, ao qual também está associado outro tipo de fontes sonoras, como, por exemplo, as sirenes, os alarmes e buzinas das viaturas ou os escapes de motociclos. Todos os sons assim originados possuem a característica de se destacarem significativamente durante o período nocturno.

Um aspecto importante a ter em consideração no ruído de tráfego rodoviário é a respectiva composição do tráfego. Efectivamente, os veículos ligeiros, os veículos pesados e os motociclos estabelecem níveis sonoros com diferentes conteúdos espectrais, sendo necessário considerá-los de forma independente. Para além deste factor, há que ter em conta que, para baixas velocidades, o ruído predominante provém do motor, do escape e da admissão do ar, enquanto que, para médias e altas velocidades, resulta principalmente da interacção pneu-pavimento e da aerodinâmica dos veículos. Para além do tráfego rodoviário, o aumento do tráfego ferroviário é cada vez mais significativo, constituindo uma fonte de ruído cada vez mais preponderante em zonas urbanas, a par com o ruído de tráfego aéreo.

Adicionalmente ao ruído devido aos modos de transporte, em zonas urbanas, é também necessário considerar o ruído devido a actividades de lazer, como, por exemplo, o ruído decorrente do funcionamento de restaurantes, discotecas, bares, eventos desportivos, feiras e actividades comerciais. Outra fonte de ruído nas cidades são os trabalhos associados à construção civil, e à construção e reabilitação de edifícios. Em áreas de grande densidade populacional, é frequente a existência de ruído de vizinhança, originado por diversas fontes, no qual se engloba o ruído emitido pelos indivíduos e animais.

Assim, pode-se dizer que o ruído urbano é originado por um conjunto diversificado de fontes sonoras, com características diversas, umas com carácter intermitente, outras com carácter contínuo, ao qual estão associados distintos espectros em frequência, alguns com características tonais e outros com impulsivas. Por outro lado, o ruído de fundo em zonas urbanas é definido como aleatório, do tipo ruído branco, e resulta da sobreposição de sinais distintos. A noção de acontecimento (ou evento acústico), coloca a questão de emergência das fontes sonoras. Normalmente, esta emergência depende da distância a que se localiza o receptor da fonte e dos diversos contextos das actividades urbanas. Em zonas urbanas, para além da multiplicidade de fontes sonoras, existem grandes aglomerados de edificado, com composições espaciais diversas e disposições, proporções e materiais diferentes, complicando o estudo do fenómeno de propagação sonora.

3.1.2 Micro modelos para a emissão e propagação sonoras

O ambiente complexo e a grande extensão das cidades e respectivas áreas suburbanas apresentam um grande desafio para o mapeamento de ruído, onde as ondas sonoras provenientes das mais diversas fontes se propagam até ao observador, através de uma vasta rede geométrica. Com efeito, um modelo para a propagação sonora em zonas urbanas necessita de ter em conta múltiplas reflexões, muitas das quais de natureza não especular (reflexões difusas) nas irregularidades das superfícies das fachadas dos edifícios, difracções, para além de ter que lidar com numerosos obstáculos à propagação sonora. Adicionalmente, deve fornecer resultados fiáveis na banda de frequências de interesse, nomeadamente, entre 50 Hz e 10 kHz.

Nas zonas urbanas, os efeitos meteorológicos na propagação sonora são menos importantes, só se tornando significativos em campo livre. A combinação dos requisitos anteriores num modelo que produza resultados com um tempo de computação aceitável obriga evidentemente ao estabelecimento de compromissos em relação ao grau de exactidão pretendido. Existe um grande número de modelos que permitem o cálculo da distribuição do campo sonoro em zonas urbanas. No entanto, estes podem-se dividir em dois grandes grupos: os micro modelos, utilizados quando se pretende um cálculo mais exacto dos campos sonoros em pequenas áreas, como, por exemplo, ao nível de uma rua ou quarteirão, e os macro modelos, que envolvem métodos estatísticos e algoritmos simplificados, utilizados essencialmente para a descrição de campos sonoros em áreas extensas. Para ambos os modelos os resultados são obtidos em termos dos níveis sonoros.

No domínio dos micro modelos, existem modelos de propagação sonora baseados na acústica geométrica, que têm como hipótese os comprimentos de onda em jogo serem pequenos quando comparados com as dimensões das superfícies de fronteira, modelos baseados no balanço da radiação (também designado método da radiosidade), modelos baseados na teoria clássica de transporte de partículas e modelos baseados em elementos fronteira e elementos finitos.

No âmbito da acústica geométrica, utilizam-se dois métodos para a modelação da propagação sonora, designadamente:

1) O método das fontes imagem, que se baseia no tratamento das superfícies planas como se fossem um espelho e na construção de fontes-imagens que simulam o efeito de reflexões sucessivas. As fontes imagem são construídas de uma maneira geométrica por simetria relativamente ao plano da superfície onde ocorre a reflexão. Num dado ponto receptor, a contribuição de cada fonte imagem segue a lei do inverso do quadrado da distância, sendo os efeitos de absorção sonora simulados a partir de um decréscimo da amplitude das fontes imagem, proporcional ao coeficiente de absorção das superfícies. Este tipo de abordagem só contempla as reflexões especulares, sendo desprezados os efeitos de difracção e difusão. Uma das grandes desvantagens deste método é que o tempo de cálculo aumenta exponencialmente com o número de fontes imagens considerado.

2) O método de traçado de raios, que pressupõe que a energia sonora é distribuída por um certo número de raios rectilíneos emitidos a partir por uma fonte sonora. Quando estes raios encontram uma superfície, a sua direcção é desviada de modo especular. A partir da contabilização do número de raios que atravessam um volume, centrado num ponto receptor, é calculada a energia sonora correspondente. Um dos problemas mais importantes neste método, é precisamente a definição do volume, pois este não só deve ser representativo do receptor real, mas também permitir a contabilização de um número significativo de raios sonoros, para que seja possível a quantificação do nível energia associado com alguma exactidão. Em certos casos, também é possível neste método simular os efeitos de difusão pelas superfícies, a partir de um número fixo de reflexões especulares, por meio de uma escolha aleatória (muitas vezes, assume-se a lei do cosseno) para a direcção do raio reflectido.

No domínio da acústica geométrica, existe ainda a possibilidade da utilização de métodos híbridos, constituídos por uma associação do método das fontes imagem e do método de traçado de raios, de modo a reduzir o tempo de computação.

No âmbito dos micro modelos foram propostos alguns métodos que permitem contemplar as reflexões difusas. O método da radiosidade baseia-se nos princípios da transferência de calor. A teoria de transferência de calor descreve a radiação como transferência de energia de uma superfície, quando essa superfície é excitada termicamente (supondo que as superfícies são difusores emissores e reflectores de energia), emitindo e reflectindo energia uniformemente sobre toda a sua área. Na aplicação a zonas urbanas,

o método da radiosidade divide as fronteiras do espaço, como, por exemplo, uma rua urbana ou uma praça, num número de elementos (*patches*) e substitui esses elementos e receptores por nós de uma rede, tendo como hipótese que os elementos são uniformes em toda a área de estudo. A propagação sonora no espaço pode ser simulada pela troca de energia entre os nós. A resolução espacial dos resultados obtidos está relacionada com o número de nós considerados, podendo cada nó absorver ou reflectir energia de uma maneira difusa. A energia transferida entre pares de nós depende de um factor de forma, que é uma fracção da energia sonora emitida por difusão de um elemento para o outro, de natureza puramente geométrica, independente dos atributos da superfície. O cálculo da “matriz total” de radiosidade é efectuado numericamente, por um processo iterativo, em que cada interacção do algoritmo requer o cálculo do factor de forma entre um ponto de uma única superfície e todas as outras superfícies. O método da radiosidade foi aplicado em áreas urbanas pela primeira vez por Jian Kang [Kang, 2002], para simular superfícies reflectoras existentes numa rua estreita com edifícios altos, considerando-se que as superfícies das fachadas dos edifícios e o solo como reflectores difusos. Os resultados obtidos pelo método da radiosidade para a distribuição dos níveis sonoros, permitiram constatar a concordância destas previsões com os resultados das medições efectuados por Picault [Picault e Simon, 2001] utilizando um escala de 1:50 de uma rua urbana com um comprimento e largura de, respectivamente, 96 m e 8 m, e com edifícios com uma altura de 12 m, cujas fachadas se pudessem considerar como reflectores difusos. No entanto, este tipo de técnica é limitado a configurações geométricas simples e não contempla as reflexões especulares. Assim este modelo foi combinado com o método da fonte imagem para contemplar as reflexões especulares, enquanto o método da radiosidade tem sido utilizado para o tratamento das reflexões difusas [Kang, 2002].

Outro tipo de micro modelo, que permite ter em conta as reflexões difusas, é o modelo baseado na teoria clássica de transporte de partículas, proposto por [Picault *et al.*, 1999]. Neste modelo, o campo sonoro é representado por um imenso conjunto de N partículas sonoras elementares (ou fonões), sem iterações mutuas e portadoras de uma energia infinitesimal constante e igual a e . Entre dois choques sucessivos com os obstáculos no meio de propagação, estas partículas propagam-se em linha recta, à velocidade do som. Deste modo, um fonão é uma partícula pontual clássica que é caracterizada pela sua energia, e , a sua posição $x(x,y,z)$ e velocidade, sendo cada partícula caracterizada num espaço a 6 dimensões que envolve as coordenadas espaciais e as componentes da velocidade. Aquando de uma colisão, as partículas podem ser absorvidas ou reflectidas.

No último caso, a sua direcção é desviada e a partícula recomeça um novo trajecto. Nesta abordagem, a distribuição do campo sonoro é similar à distribuição das partículas sonoras no meio, ou seja, a densidade local da energia sonora é igual à densidade local de fonões. Com recurso à mecânica estatística, é possível obter o respectivo comportamento estatístico do sistema a partir da utilização de funções de distribuição $f(x, v, t)$ para cada partícula. Este modelo permite considerar superfícies de fachadas de edifícios como difusores parciais, a difusão por objectos urbanos, a atenuação atmosférica e o efeito do vento.

O desenvolvimento de computadores com maior capacidade de processamento permitiu a aplicação ao estudo de propagação sonora a zonas urbanas de modelos baseados em soluções numéricas da equação de onda [Salomons e Noordhoek, 2002], nos quais se incluem o método de elementos finitos (FEM), o método dos elementos fronteira (BEM), o método das fontes equivalentes (ESM), o método de diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD) e o método da equação parabólica (PE).

Em algumas situações para um melhor conhecimento da distribuição do campo sonoro, assim como para a validação dos modelos teóricos anteriormente referidos recorre-se à elaboração de modelos reduzidos. No entanto, a sua utilização apresenta algumas restrições [Picault e Simon, 2001]. Em primeiro lugar, a exactidão da reprodução do modelo tem de ser grande, uma vez que é necessário reproduzir os fenómenos de absorção sonora, reflexões múltiplas e reflexões não especulares (difusas) pelas fachadas dos edifícios e solo, assim como os fenómenos de difracção. Tendo em conta as dimensões das áreas em jogo (rua ou quarteirão), torna-se necessário recorrer a grandes factores de escala (da ordem de 50), o que obriga à utilização de fontes sonoras no domínio dos ultra-sons. Este facto implica a utilização de receptores adaptados para o efeito e o recurso a técnicas de processamento de sinal para a compensação da atenuação atmosférica no modelo reduzido.

Outra possibilidade é a realização de estudos experimentais *in situ*, com o intuito de medir as respostas impulsionais em vários locais de uma rua estreita, para várias posições da fonte sonora, de modo a obter-se os valores de atenuação do som em função da distância e os tempos de reverberação [Picault *et al.*, 2005]. Embora os dados assim recolhidos possam fornecer informações importantes para o estudo da propagação sonora em zonas urbanas e correspondente validação dos vários modelos teóricos, a

obtenção deste tipo de medições não é fácil, devido à complexidade experimental envolvida e a razões de natureza prática, uma vez que é necessário o fecho das ruas ao trânsito. No entanto, embora os modelos anteriormente referidos permitam uma previsão da propagação em zonas urbanas com bastante exactidão, a aplicação dos algoritmos associados a espaços urbanos de grande magnitude, é no entanto impraticável. Para este efeito, existem uma série de algoritmos simplificados, a maior parte especificados em documentos normativos, quer internacionais (por exemplo, a norma ISO 1993), ou nacionais (por exemplo, a norma francesa XP S 31-133, relativa ao ruído de tráfego rodoviário) para o cálculo da propagação sonora, devida ao ruído de tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo e industrial, que são disponibilizados em programas para computador de modo a permitir o mapeamento dos níveis sonoros.

Nos últimos anos, os habitantes das cidades e os técnicos que trabalham em acústica, têm cada vez mais a consciência de que a melhoria da qualidade sonora do ambiente urbano não se deve reduzir a uma simples "luta contra o ruído", intervindo unicamente no domínio das intensidades, de modo a reduzir os ruídos emergentes de um ruído de fundo cada vez mais elevado. É neste contexto que é introduzida a noção de "qualidade sonora", que engloba a satisfação dos indivíduos que utilizam determinada zona urbana e na qual o auditor humano introduz a sua apreciação. Em resumo, inserida numa política de redução da incomodidade ao ruído, a introdução de técnicas que corrigem quantitativamente os níveis sonoros não é suficiente, tendo sido introduzidos nos últimos anos novos conceitos, como, por exemplo, os termos "ambiências" e "paisagem sonora", que consideram os aspectos qualitativos e semânticos dos fenómenos acústicos. O ruído não é simplesmente um fenómeno físico: ele define-se prioritariamente como um efeito de um acontecimento sonoro sobre os indivíduos, que são simultaneamente "receptores" e "actores". Esta sequência de ideias impõe uma abordagem em que a análise acústica dos sinais sonoros ambientais se deve basear na análise das percepções e respectivas interpretações.

3.1.3 Macro modelos para a emissão e propagação sonoras

3.1.3.1 Modelo de propagação sonora estabelecido na norma internacional ISO 9613-2

Para o cálculo da propagação sonora de ruído ambiente no exterior (em termos do nível sonoro contínuo equivalente, por bandas de oitava ou de terços de oitava), para fontes sonoras com um espectro conhecido, condições meteorológicas médias favoráveis à propagação sonora entre a fonte e o receptor, para dois distintos tipos de solo, é utilizado o método estabelecido na norma ISO 9613-2 [ISO 9613-2, 1996]. Neste método, as condições de propagação sonora entre a fonte e o receptor são restringidas às condições de propagação sonora favoráveis da fonte para o receptor. Estas condições, definem-se como as condições de propagação para as quais a direcção do vento se situa num ângulo horizontal de $\pm 45^\circ$, relativamente à direcção definida entre o centro da fonte predominante e o centro da área receptora e uma velocidade do vento entre 1 ms^{-1} e 5 ms^{-1} , medida a uma altura de 3 m a 11 m acima do solo. Ao restringir o âmbito de aplicação da norma às condições de propagação sonora favoráveis entre a fonte e o receptor, existe uma limitação dos efeitos das condições meteorológicas à pior situação (direcção do vector vento favorável à propagação sonora), o que implica níveis sonoros no receptor mais elevados.

O método especificado nesta norma permite ter em conta as dimensões e a directividade da fonte sonora, os efeitos de atenuação com a distância, a absorção sonora na atmosfera, o efeito do solo, as reflexões devidas à presença de obstáculos e a difracção (em termos de perda de inserção). Neste método, o cálculo do efeito do solo permite ter em consideração solos designados como “duros” ou reflectores (por exemplo água, gelo) e solos “porosos” ou absorventes (por exemplo solos cobertos de erva). No que respeita ao fenómeno da reflexão nas superfícies de obstáculos, estas são consideradas como especulares, sendo especificadas correcções detalhadas para o tratamento de reflexões nas fachadas dos edifícios. O método tem também em conta a difracção simples e dupla, que ocorre nos bordos de barreiras com espessura variável, incluindo uma correcção para a degradação do desempenho das barreiras devido às condições meteorológicas.

No modelo de propagação sonora proposto é efectuada uma distinção entre as previsões de curta e longa duração (relativas, por exemplo, a um valor médio anual), sendo incluída uma correcção, correspondente a esta diferenciação. Efectivamente, esta norma permite

preencher o vazio que existe entre as normas que especificam métodos para a determinação dos níveis de potência sonora emitidos por vários tipos de fontes sonoras e equipamentos, e a série de normas ISO 1996, que especificam métodos para a descrição do ruído ambiente no exterior, baseados em medição ou no complemento entre medições e cálculo.

O nível sonoro contínuo equivalente, por bandas de oitava, em decibel, com vento favorável da fonte para o receptor é calculado segundo a expressão:

$$L_{DW} = L_w + D_c - A \quad (3.1)$$

em que L_w é o nível de potência sonora da fonte, por bandas de oitava, D_c a correcção da directividade, e A a atenuação que ocorre durante a propagação sonora entre a fonte e o receptor, por banda de oitava:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{solo} + A_{bar} + A_{misc} \quad (3.2)$$

em que A_{div} é a atenuação devida à divergência geométrica (diminuição do nível sonoro devido ao aumento da distância), A_{atm} é a atenuação devida à absorção atmosférica, A_{solo} a atenuação devida ao efeito do solo, A_{bar} é a atenuação devida a uma barreira (que só é considerada se a sua massa por unidade de superfície for superior a 10 kg/m² e a sua dimensão horizontal (perpendicular à linha que une a fonte ao receptor) for maior que o comprimento de onda correspondente à frequência central da banda de oitava em análise, A_{misc} é a atenuação devida a efeitos diversos, verificando-se:

$$A_{div} = 20 \log_{10} \frac{d}{d_0} + 11 \quad (3.3a)$$

$$A_{atm} = \frac{\alpha d}{1000} \quad (3.3b)$$

$$A_{solo} = 4,8 - \left(\frac{2h_m}{d} \right) \left(17 + \frac{300}{d} \right) \quad (3.3c)$$

$$A_{bar} = 10 \log_{10} \left(3 + \left(\frac{C_2}{\lambda} \right) C_3 z K_{met} \right) \quad (3.3d)$$

onde d é a distância da fonte ao receptor (em metros); d_0 é igual a 1; α o coeficiente de atenuação atmosférica, em decibel por km; h_m é a altura média acima do solo; $C_2 = 20$ (incluindo os efeitos de reflexões no solo); z é a diferença entre os comprimentos das

trajectórias do som directo e do som reflectido, λ o comprimento de onda, $C_2 = 1$ para difracções simples e $C_3 = \left[1 + (5\lambda/e)^2\right] / \left[(1/3) + (5\lambda/e)^2\right]$, em que e é a distância entre as duas arestas de difracção no caso de difracção dupla; K_{met} é o factor que tem em conta os efeitos meteorológicos, dado por:

$$K_{met} = \exp\left[-\left(1/2000\right)\sqrt{d_{ss}d_{sr}d/2z}\right] \quad \text{para } z > 0 \quad (3.4a)$$

$$K_{met} = 1 \quad \text{para } z \leq 0 \quad (3.4b)$$

em que d_{ss} é a distância entre a fonte receptora e a primeira aresta de difracção e d_{sr} é a distância entre a segunda aresta de difracção e o receptor.

Para o cálculo do nível sonoro de longa duração, ponderado A, é necessário ter em conta o efeito das condições meteorológicas. Assim, esta norma sugere a introdução de um factor correctivo (designadamente de uma redução com o valor máximo de 5 dB) aplicado aos valores obtidos para a análise de curta duração, calculados para condições favoráveis à propagação sonora entre a fonte e o receptor, de modo a obter-se o nível sonoro médio de longa duração. Este factor correctivo é determinado de acordo com a Eq. (3.5a e 3.5b), em que C_0 é uma constante que depende da estatística das condições meteorológicas locais, cujo valor varia entre 0 e 5 dB, e h_s corresponde à altura da fonte e h_r a altura do receptor:

$$C_{met} = 0 \quad \text{se } d_p \leq 10(h_s + h_r) \quad (3.5a)$$

$$C_{met} = C_0 \left\{1 - 10(h_s + h_r)/d_p\right\} \quad \text{se } d_p \geq 10(h_s + h_r) \quad (3.5b)$$

A norma ISO 9613-2 declara uma exactidão para a determinação do nível sonoro ponderado A, da ordem dos 3 dB(A) até uma distância de 1 km, para alturas médias da fonte e do receptor inferiores a 5 m, sendo, no entanto, aceitável que, para bandas de oitava, os erros estimados tenham um valor superior. É também necessário ter em conta que o método descrito nesta norma para o cálculo do efeito do solo somente é valido em terrenos planos ou em terrenos que tenham um gradiente constante.

3.1.3.2 Modelo de emissão sonora para o ruído de tráfego rodoviário, estabelecido na norma francesa XP S 31-133

A norma francesa XP S31-131 [AFNOR XP S31-133, 2001] descreve o mesmo procedimento de cálculo para a emissão sonora que o método francês NMPB-Routes 96 (*Nouvelle Méthode de Prevision du Bruit des Routes*) [CERTU *et al.*, 1997], sendo estes dois documentos referenciados na Directiva de gestão e avaliação do ruído ambiente [Portugal. Leis, Decretos-Lei, 2006], como métodos de computação interinos.

A grandeza básica que descreve o ambiente sonoro nas proximidades de uma infraestrutura rodoviária é o nível sonoro contínuo equivalente, de longa duração, ponderado A. Para a determinação deste descritor de ruído deve tomar-se em consideração o fluxo anual de tráfego (subdividido em fluxo contínuo, pulsado contínuo, pulsado acelerado e pulsado desacelerado) e respectiva composição (veículos ligeiros ou veículos pesados), velocidades de circulação médias anuais, perfis longitudinais da via (horizontal, subida e descida) e as condições meteorológicas (gradientes verticais da velocidade do vento e da temperatura) que prevalecem durante o período de um ano. Para a determinação do nível sonoro de longa duração, L_{LT} , são considerados dois tipos de propagação sonora: a propagação sonora com condições favoráveis da fonte para o receptor e a propagação sonora com condições homogéneas, às quais são associadas as respectivas probabilidades de ocorrência durante um ano, tendo-se:

$$L_{LT} = 10 \log_{10} \left(p 10^{\frac{L_F}{10}} + (1 - p) 10^{\frac{L_H}{10}} \right) \quad (3.6)$$

em que L_F e L_H representam os níveis sonoros calculados, respectivamente para condições de propagação favoráveis e homogéneas, e p a correspondente probabilidade de ocorrência. Assim, para a caracterização da influência das condições meteorológicas na propagação sonora (no método NMPB refere-se que, para distâncias entre a fonte e o receptor superiores a 100 m, esta influência já se faz notar), deve-se conhecer a probabilidade de ocorrência das condições favoráveis e das condições homogéneas (usualmente conhecida a distribuição angular em sectores de 20°) durante 1 ano. No entanto, se tal não for conhecido, são utilizados os valores por defeito: 50% de ocorrência de condições favoráveis durante o dia; 75% no período do entardecer e 100% durante a

noite, os quais conduzem usualmente a valores dos níveis sonoros no receptor sobrestimados.

No que respeita à obtenção dos valores de emissão sonora, é necessário, em primeiro lugar, decompor a via a modelar num conjunto de secções uniformes do ponto de vista acústico (fontes elementares), que são modeladas por um conjunto de fontes pontuais. Para a realização desta segmentação, podem-se utilizar diversas abordagens, dependendo da uniformidade de factores que afectam a emissão e a propagação de ruído, tais como a utilização de uma técnica de divisão angular partindo do ponto receptor (separação máxima de 5°), ou da técnica de divisão uniforme (com comprimento máximo de 20 m), em que cada fonte é subdividida num conjunto de fontes pontuais com iguais equidistâncias, ou então utilizando uma técnica de divisão variável. No entanto, em qualquer das técnicas, é necessário que, em todo o sector angular abrangido entre o receptor e a fonte pontual, o tipo de solo, a topografia do terreno e os obstáculos tenham características similares. Para cada fonte elementar, que se considera situada a uma altura de 0,5 m do pavimento e localizada no meio da secção, é necessário calcular a intensidade sonora, por bandas de oitava (com frequências centrais entre 125 Hz e 4000 Hz) e com a ponderação A.

O nível sonoro contínuo equivalente, para uma hora, na isófona de referência e para diferentes fluxos de tráfego, é determinado a partir da expressão:

$$L_{Aeq,1h} = (L_{AW} - 10\log_{10} v - 10\log_{10} n - 50) = L_{Aw/m} - 20 \quad (3.7)$$

em que L_{AW} representa o nível de potência sonora do veículo em dB(A), v a respectiva velocidade média, em km/h, n o número de veículos, e $L_{Aw/m}$ é o nível de potência sonora para cada secção da via. O nível sonoro contínuo equivalente para a isófona de referência representa o nível de potência sonora da via por metro, ao qual se subtraiu 20 dB(A).

O NMPB-Routes 96 [CERTU *et al.*, 1997] publica um conjunto de nomogramas com os valores de emissão em função da velocidade do veículo, das categorias, dos tipos de gradientes das vias e das características de tráfego. Para uma secção da via, o nível de potência sonora, por metro, é calculado a partir da soma energética das contribuições devidas a todos os veículos no intervalo de tempo de referência. Estes nomogramas

foram obtidos a partir dos resultados de campanhas de medição exaustivas. Neste modelo, são considerados como veículos ligeiros os que pesam menos de 3,5 toneladas, sendo os restantes considerados como veículos pesados.

Os valores constantes nos referidos ábacos [CERTU *et al.*, 1997] permitem a dedução da seguinte expressão:

$$E = E_0 + a \log_{10} \left(\frac{v}{v_0} \right) \quad (3.8)$$

em que E_0 e a , são valores que se encontram tabulados, dependendo das características do tráfego, e $v_0 = 20$ km/h. Os ábacos anteriormente referenciados foram obtidos sem se fazer a distinção entre as características dos pavimentos rodoviários, utilizando-se valores correspondentes a características médias. No entanto, o modelo básico de emissão de ruído é calculado para um pavimento de referência, que é compatível com o pavimento de referência da norma ISO 11819-1 [ISO 11819-1, 1997], sugerindo a utilização de correcções de modo a ter-se em conta as várias propriedades dos tratamentos de superfície. Assim, são incluídas neste modelo as correcções apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Correcções para os pavimentos no modelo estabelecido na norma francesa XPS 31-133

Pavimento rodoviário	Correcção para o nível sonoro (dB)	
	$v < 80$ km/h	$v > 80$ km/h
Pavimento poroso	-1 dB	-3 dB
Betão betuminoso (betão ou mástique)	0 dB	
Betão cimento	+ 2 dB	
Empedrado	+ 4 dB	

A emissão devida ao tráfego deve ser determinada pelo menos para cada período de referência (diurno, entardecer e nocturno), baseada nas respectivas características anuais. Caso estas características sejam variáveis dentro dos períodos de referência, deve ser efectuada uma amostragem mais fina, a partir da subdivisão do período de referência em períodos onde as características sejam similares, ou seja, o mesmo tipo de

tráfego, mesma composição, e diferenças na velocidade dos veículos desprezáveis face à exactidão pretendida.

Para cada percurso de propagação, considerando-se condições meteorológicas entre a fonte e o receptor favoráveis e uniformes, é necessário ter em conta a contribuição resultante da atenuação devida à divergência geométrica, A_{geo} , a atenuação devida à absorção atmosférica, A_{atm} , e a atenuação devida ao efeito do solo, A_{solo} , para essas mesmas condições meteorológicas. É também necessário ter em conta um factor de difracção, que considere a proporção do som difractado pelos vários obstáculos e um factor que tenha em conta o efeito das reflexões.

A atenuação sonora devida à divergência geométrica, A_{geo} , é calculada com base na propagação de ondas esféricas. A atenuação sonora devido ao efeito do solo, A_{solo} , causada pela interferência entre o som reflectido no solo e o som directo entre a fonte e o receptor, esta é calculada tendo em conta os dois tipos de efeitos das condições meteorológicas: condições favoráveis e homogéneas. A atenuação nas condições favoráveis é calculada de acordo com o método descrito na norma ISO 9613-2, enquanto que a atenuação na presença de condições homogéneas ($A_{solo,H}$) é calculada tendo em conta o coeficiente de absorção do solo G . A norma distingue dois tipos de solos, solos para os quais $G = 0$ (solos reflectores, como por exemplo o betão, ou os revestimentos rodoviários) e solos para os quais $G = 1$ (solos absorventes, como, por exemplo, solos agrícolas ou pradarias), podendo o coeficiente G ter valores intermédios entre 0 e 1, no caso de se pretender uma representação de um solo cujo coeficiente de absorção seja variável ao longo do percurso de propagação. Se $G = 0$ (solo reflector), considera-se que a atenuação devido ao solo é igual a -3 dB.

Este método contempla a difracção pelo bordo de qualquer obstáculo, desde que a diferença de percurso entre a linha que une directamente a fonte e o receptor, relativamente à linha que une a fonte ao receptor via o bordo do obstáculo, seja superior a $\lambda/20$ (em que λ é o comprimento de onda para a frequência de 500 Hz, ou seja, - 0,034 m). O cálculo dos efeitos de difracção pelo bordo de obstáculos é efectuado de modo distinto, para as condições de propagação favoráveis (em que se simula o efeito da curvatura dos raios sonoros) e homogéneas.

As reflexões em obstáculos verticais (objectos para os quais a correspondente inclinação relativamente ao plano vertical é inferior a 15°) são consideradas recorrendo ao conceito de fonte imagem. Para o cálculo do nível de potência sonora das fontes imagens é necessário ter em conta o coeficiente de absorção da superfície reflectora. No caso de não existir informação sobre os coeficientes de absorção, pode-se utilizar os seguintes valores (v. Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Correções para a absorção do solo no modelo estabelecido na norma francesa XPS 31-133

Material	Coeficiente de absorção
Parede reflectora	0,0
Barreira sonora reflectora	0,2
Parede em edifício com varandas	0,4
Barreira absorvente	0,6
Parede muito absorvente ou barreira	0,8

Na Figura 3.1 pode ser visualizado um esquema representativo da metodologia utilizada no modelo Francês para o cálculo do ruído de tráfego rodoviário [AFNOR XP S31-133, 1996]. Este modelo possui as seguintes limitações: o ponto receptor tem de estar 2 metros acima do solo, os resultados obtidos são válidos até distâncias de 800 m da via a modelar, a velocidade mínima dos veículos é de 20 km/h e, próximo dos edifícios, os cálculos são efectuados a uma distância mínima de 2 m destes. Acrescente-se ainda o facto de os valores individuais de emissão dos veículos definidos no documento NMPB-Routes 96 [CERTU *et al.*, 1996], corresponderem a medições realizadas nos anos 70 do séc. XX. No entanto, foi recentemente estabelecido um programa de investigação com a finalidade de actualizar os valores de emissão sonora, de modo a ter-se em conta os novos desenvolvimentos na indústria automóvel e na indústria de construção de pavimentos rodoviários. Este documento deu origem a uma nova publicação, designada por NMPB-Routes-2008 [Dutilleux *et al.*, 2008].

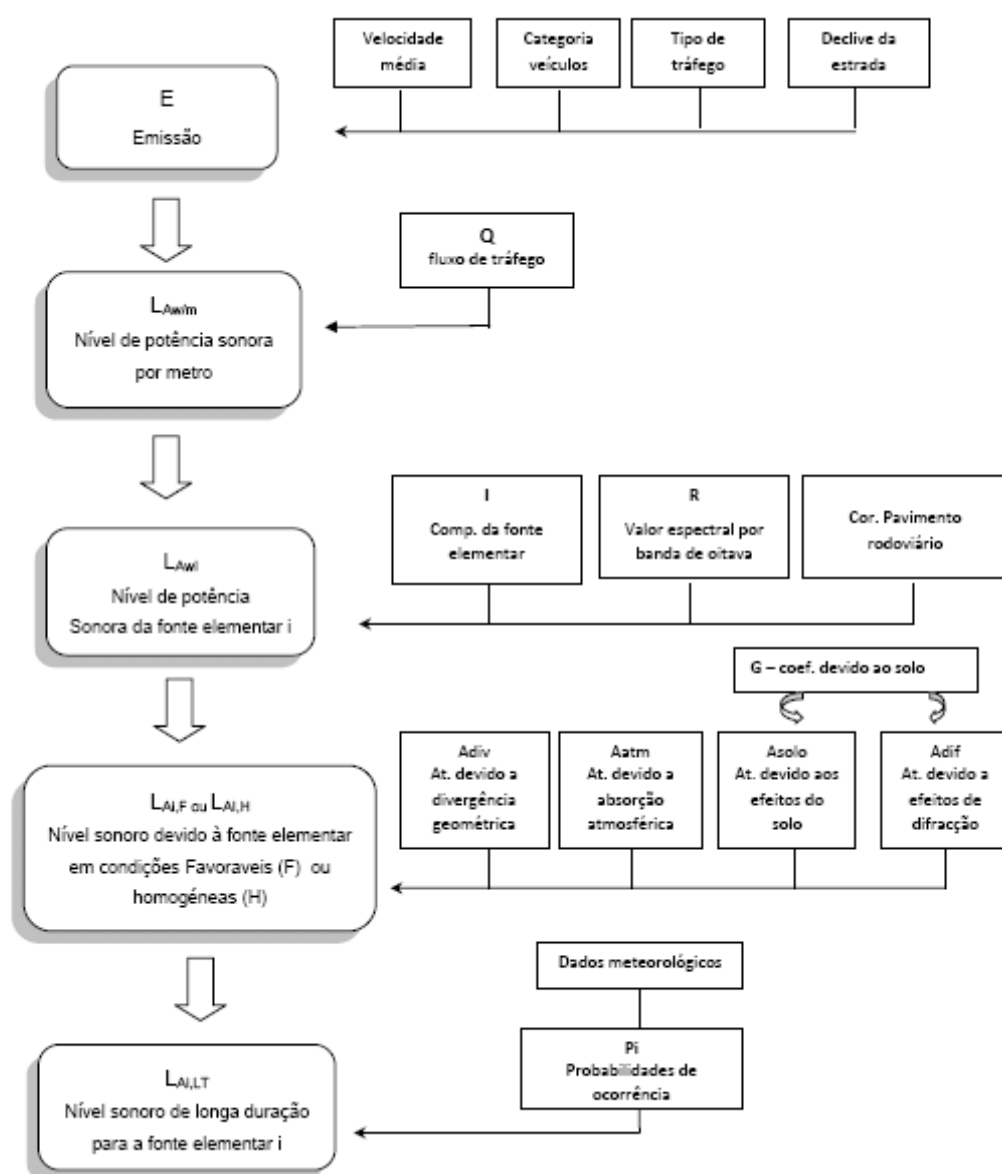


Figura 3.1 – Representação esquemática do modelo Francês para o cálculo do ruído de tráfego rodoviário, adaptada de [NF S31-133, 2001]

No documento anterior, a metodologia adoptada para a determinação dos valores de emissão sonora dos veículos, considera o descritor L_{Amax} como a soma da contribuição de duas fontes: a contribuição devida ao ruído do motor que varia com a velocidade, aceleração e o gradiente da via, e a contribuição devida à interacção pneu pavimento, que varia com a velocidade e tipo de pavimento, para duas categorias de veículos (ligeiros, e pesados, correspondendo estes últimos a veículos com peso superior a 3,5 toneladas). As velocidades de circulação para cada tipo de veículos variam entre os 5

km/h e 130 km/h, para veículos ligeiros, e entre os 5 km/h e os 100 km/h, para veículos pesados. O procedimento para a obtenção dos novos valores de emissão baseou-se em resultados de medições obtidas com a utilização dos métodos de passagem estatística de veículos (conhecido pela sigla anglo-saxônica SPB), de acordo com a metodologia de ensaio descrita na ISO 11819-1, edição de 1997 [ISO 11819-1, 1997], considerando-se três categorias de pavimentos: pavimentos rodoviários com características de absorção sonora (representados por camadas de desgaste do tipo betuminosas delgada, ou do tipo de porosas), pavimentos rodoviários de características intermédias (betão betuminoso denso) e pavimentos rodoviários de características ruidosas (betão cimento, por exemplo). Espera-se que, em breve, esta nova base de dados seja integrada no modelo francês [XP S31-133, 2001] para a previsão de ruído de tráfego rodoviário.

3.1.3.3 Modelos de emissão sonora para o ruído de tráfego rodoviário e de propagação sonora, estabelecidos no método *Nord* 2000 e nos projectos europeus *HARMONOISE* e *IMAGINE*

Baseado em investigações que ocorreram em 1970 nos países nórdicos, foi estabelecido o método nórdico para a previsão do ruído *Nord* 2000 [Plovsing, 2006]. Este método foi revisto por duas vezes (1996 e 2006) e engloba um modelo para a propagação sonora e um modelo de previsão da emissão de ruído para determinado tipo de fonte (como, por exemplo, o ruído de tráfego rodoviário, ferroviário e ruído industrial). O modelo fornece os resultados por bandas de terços de oitava e considera qualquer tipo de condições meteorológicas. No caso do ruído de tráfego rodoviário [Jonasson e Storeheier, 2001], o modelo de emissão de ruído efectua a distinção entre cinco categorias de veículos (veículos ligeiros, pesados de dois eixos, pesados com mais de dois eixos e motociclos). Cada categoria principal é dividida em sub-categorias. Os veículos são representados por fontes localizadas a diferentes alturas acima do pavimento (0,01m, 0,30m, 0,75m e 3,5m) distanciadas de 1m da linha central do veículo, na direcção do receptor. O nível de potência sonora de cada fonte, em bandas de terços de oitava, é calculado com base nos parâmetros de entrada seleccionados pelo utilizador. Os dados de emissão de ruído são baseados em medições realizadas nos últimos 10 anos. O modelo de propagação é baseado na teoria da acústica geométrica e integra algoritmos para o cálculo da atenuação sonora por bandas de terços de oitava, no percurso de propagação entre a fonte e o receptor, tendo em conta a geometria do terreno, a respectiva impedância e

rugosidade, e a atenuação sonora devido à divergência geométrica, absorção atmosférica e efeitos de difracção. Para as reflexões múltiplas são adicionados os níveis sonoros da fonte real e da fonte imagem, tomando como hipótese que são fontes incoerentes e considerando-se normalmente até às reflexões de segunda ordem. A secção eficaz do terreno no plano vertical é simplificada num conjunto de segmentos de linha rectos e o modelo combina as contribuições de todos os segmentos de modo a simular o efeito do solo. Neste modelo, foram definidas oito classes de tipo de solo, desde muito poroso a muito compactado (asfalto). No que respeita aos pavimentos rodoviários, este método engloba oito categorias principais, que se estendem desde betão betuminoso a pavimentos porosos.

No que respeita à simulação do efeito de fenómeno de refacção do som pela atmosfera, o modelo *Nord* 2000, substitui os raios em linha recta, existentes no modelo de propagação sonora no caso de uma atmosfera homogénea, por raios encurvados [Plovsing, 2006]. Esta modificação é baseada na hipótese que a velocidade do som varia linearmente com a altura, de acordo com:

$$c(z) = c(0) + \frac{\Delta c}{\Delta z} z \quad (3.9)$$

em que $c(0)$ é a velocidade do som no solo, z a altura acima do solo e $\Delta c/\Delta z$ o gradiente da velocidade do som. No entanto, e nos casos de existência de refacções em direcção ao solo, a modificação referida tem de ser estendida, de modo a englobar o efeito das difracções múltiplas.

Neste modelo foram definidas classes distintas de condições meteorológicas, sendo a respectiva frequência de ocorrência determinada a partir de dados de observações meteorológicas. A média anual do nível sonoro é obtida a partir deste parâmetro para cada classe meteorológica e da sua posterior combinação ponderada, relativamente à sua frequência de ocorrência.

A via é subdividida em segmentos de recta, sendo calculado para cada segmento de recta o nível de exposição sonora devido a cada sub-fonte, sendo posteriormente adicionados os níveis correspondentes a todas as fontes e a todos os segmentos, de

modo a calcular-se o nível sonoro contínuo equivalente, para a combinação de categorias de veículos, fluxo de tráfego e condições ambientais em análise.

Nos recentemente finalizados projectos europeus *Harmonoise e Imagine*, foram desenvolvidos modelos harmonizados para o cálculo do nível sonoro contínuo equivalente, de longa duração, para o ruído de tráfego rodoviário e ferroviário e ruído industrial, tendo em conta diferentes condições meteorológicas. A ideia base que norteou estes projectos foi a de separar os processos de emissão e propagação sonora, com o objectivo de se obter descrições dos campos sonoros estabelecidos com um maior grau de detalhe. Esta separação também proporciona uma base para a construção de um modelo de propagação genérico que, posteriormente validado por meio de uma vasta campanha de medições realizadas, pode ser utilizado para o estudo do ruído de tráfego rodoviário e ferroviário. Para o tráfego rodoviário, os modelos estabelecidos envolvem correcções devidas ao pavimento e respectiva idade, às condições de circulação, às condições atmosféricas e às características de directividade das fontes sonoras. No âmbito deste projecto, foi também desenvolvido um modelo de referência, baseado num conjunto de modelos teóricos avançados para a propagação sonora (elementos fronteira e equação parabólica), de modo a estabelecer uma descrição teórica dos efeitos da propagação sonora e dos parâmetros associados. O modelo de referência não é apropriado para o mapeamento de ruído devido à complexidade da sua utilização e à necessidade de grandes recursos computacionais, tendo servido para a validação dos modelos de engenharia. Todavia as campanhas de medições efectuadas durante o projecto permitiram a validação do modelo de engenharia até distâncias de 1200 m [Nota *et al.*, 2005].

Para o ruído de tráfego rodoviário, o nível de potência sonora de um veículo em circulação é combinado, de modo a obter-se a potência sonora resultante para um dado fluxo de tráfego, que é representado por uma fonte linear. A partir da segmentação das fontes lineares (utilizando-se o método de projecção da fonte), são obtidos os percursos de propagação ponto-a-ponto, assumindo-se a hipótese de que as fontes pontuais e respectivas sub-fontes associadas (localizadas a diferentes alturas) radiam de modo incoerente. Para caracterizar a emissão do ruído, é necessário distinguir o modelo do veículo, descrito pela potência sonora de um único veículo em circulação, e o modelo de tráfego, que combina a emissão de ruído dos vários veículos em circulação num valor de potência sonora por comprimento da fonte linear. O modelo de veículo utiliza a

velocidade do mesmo como dado de entrada e fornece a potência sonora para um dado veículo, enquanto que o modelo de tráfego, estabelece uma descrição estatística do nível de potência sonora de saída do fluxo de tráfego total. Efectivamente, neste modelo, existe a separação entre as fontes de ruído devidas à interacção pneu pavimento (designada adiante por ruído de rolamento) e devidas ao funcionamento do motor (ruído de propulsão). A principal vantagem na utilização desta metodologia é permitir calcular a eficácia de planos de acção de ruído, a partir de uma simulação mais eficaz da redução da emissão sonora na fonte, proporcionada pelas medidas de minimização de ruído.

Os veículos foram divididos em cinco categorias principais, designadamente: veículos ligeiros (carros e carrinhas), veículos médios pesados (veículos de dois eixos, como autocarros ou carrinhas), veículos pesados (com mais de dois eixos), outros veículos pesados (como camiões de construção e tractores agrícolas), e veículos de duas rodas. Cada categoria de veículos é representada por duas fontes pontuais, estando associada a cada uma um nível de potência sonora, que engloba a contribuição do ruído de rolamento e do ruído de propulsão. Cada categoria principal encontra-se dividida em subcategorias, sendo utilizadas pelo menos três subcategorias. Para a condição de referência (velocidade constante, temperatura igual a 20°C e um pavimento rodoviário em betão betuminoso, com uma idade superior a dois anos, mas sem sinais de deterioração), o ruído de rolamento é calculado a partir da expressão:

$$L_{WR}(f) = a_R(f) + b_r(f) \log_{10} \left(\frac{v}{v_{ref}} \right) \quad (3.10)$$

em que os coeficientes a e b são determinados para cada categoria de veículo, em bandas de terço de oitava, entre 25 Hz e 10 kHz, v é a velocidade de circulação e v_{ref} é a velocidade de referência, igual a 70 km/h. Neste modelo, considera-se que 80% do ruído de rolamento é proveniente da fonte localizada a uma altura do pavimento de 0,1 m e que 20% é devido à uma fonte colocada a uma altura de 0,3 m para os veículos ligeiros e a uma altura de 0,75 m para os veículos pesados. O ruído de propulsão é descrito por uma função linear da velocidade, segundo a Eq. (3.11):

$$L_{WR}(f) = a_p(f) + b_p(f) \log_{10} \left(\frac{v - v_{ref}}{v_{ref}} \right) \quad (3.11)$$

em que os coeficientes a_p e b_p dependem da categoria dos veículos e da frequência. Por hipótese, assume-se que 20% do ruído de propulsão é radiado pela fonte localizada mais próxima do pavimento rodoviário, sendo os restantes 80% radiado pela fonte localizada a uma altura superior.

No caso de veículos de duas rodas, considera-se apenas a existência de uma única fonte pontual, localizada a uma altura de 0,3 m, uma vez que a contribuição para o ruído de rolamento deste tipo de veículos pode ser considerada desprezável. Aos níveis de potência sonora, assim calculados, são aplicadas correcções em função da textura do pavimento e da respectiva condição, devidas à directividade da fonte considerada e ao tipo de pneus (no caso do ruído de propulsão, assume-se que este é independente do pavimento rodoviário).

O ruído de rolamento é corrigido para os diversos tipos de pavimentos rodoviários (relativamente ao pavimento de referência) e é função da temperatura do ar (sendo a correcção para a temperatura do ar igual a 0,06-0,1 dB/°C) e do estado do piso (efectuando-se uma correcção quando este se encontra com água). Por outro lado, o ruído de propulsão é corrigido tendo em conta a aceleração, a , e a desaceleração do veículo, de acordo com a expressão:

$$\Delta L = 5,6a = 5,6(\text{declive\%})/10 \quad (3.12)$$

Assumindo-se que o declive corresponde a uma aceleração equivalente à componente da força gravitacional, então:

$$a = g \sin(\text{ângulo de declive}) \approx 10(\text{declive\%})/100 \quad (3.13)$$

O modelo de propagação descreve a atenuação entre cada fonte pontual e o receptor. No receptor, o nível sonoro de curta duração, é determinado pela adição das contribuições devidas a cada uma das fontes presentes. Os níveis sonoros de longa duração são obtidos pela combinação ponderada, de acordo com o período de ocorrência, de vários níveis sonoros de curta duração. As contribuições devido a reflexões no solo e à presença de obstáculos difractores são calculadas a partir das zonas de Fresnel, em redor dos pontos de reflexão nos segmentos do terreno entre a fonte e o receptor. A dimensão das zonas de Fresnel depende do comprimento de onda.

A perda por inserção de um objecto (barreira) é calculada a partir do número de Fresnel (N_f), de acordo com a expressão:

$$N_f = \text{sgn}(h_{ef}) \frac{2(R_s + R_R - R)}{\lambda} \quad (3.14)$$

em que h_{ef} é a altura efectiva da barreira, R_s e R_R são, respectivamente, as distâncias entre a fonte e o topo da barreira e entre o topo da barreira e o receptor, R é a distância entre a fonte e o receptor na ausência da barreira, e λ é o comprimento de onda. E a atenuação devida à difracção (A_{dif}) é calculada de acordo com a expressão:

$$A_{dif} = \begin{cases} 0 & N_f \leq -0,25 \\ 6 - 12\sqrt{-N_f} & -0,25 \leq N_f < 0 \\ 6 + 12\sqrt{-N_f} & 0 \leq N_f < 0,25 \\ 8 + 8\sqrt{-N_f} & 0,25 \leq N_f < 1 \\ 16 + 10\lg N_f & N_f \geq 1 \end{cases} \quad (3.14)$$

No caso de múltiplas barreiras, é seleccionado o bordo difractor dominante (que corresponde ao bordo para o qual corresponde um número de Fresnel mais elevado). De seguida, é calculada a perda de inserção para o segundo bordo utilizando o primeiro como um fonte ou receptor equivalente, dependendo da posição relativa entre a primeira e a segunda barreira, sendo efectuado o cálculo das atenuações resultantes.

A título conclusivo, refira-se que, embora os métodos estabelecidos nestes dois projectos tenham como finalidade uma harmonização dos modelos de cálculo para o ruído ambiente, existem sempre aspectos regionais a ter em consideração, que deverão ser introduzidos como correcções ao modelo, como, por exemplo, o tipo de frota existente e respectivo estado de manutenção, bem como o tipo de combustível utilizado. Para além desses factores, deve-se ter em atenção que os pavimentos rodoviários podem ser muito distintos de país para país.

3.2 Representação espacial dos níveis sonoros

A utilização de modelos de propagação e emissão sonora permite a elaboração de mapas de ruído de uma determinada área, a partir da obtenção de valores representativos dos níveis sonoros num determinado ponto do espaço, para o ruído de tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e para ruído industrial. No contexto da legislação em vigor, os mapas de ruído são considerados como fazendo parte de um vasto leque de ferramentas de ordenamento do território, constituindo uma ferramenta base para a estimativa da exposição ao ruído de uma população.

A definição do tipo de mapeamento de ruído a realizar depende do âmbito de aplicação pretendida. Os mapas de Tipo 1 são elaborados para escalas de representação de 1/25000, 1/10000 e 1/5000, com vista a uma representação global da importância das fontes sonoras e potencial consequência à escala urbana, ao nível do quartiereiro ou até mesmo do concelho. Também são utilizados mapas de Tipo 1 para o estudo das alterações do campo sonoro decorrentes de implementação de planos de circulação rodoviária e no caso do estudo da influência de um projecto rodoviário ou ferroviário, num Tabela de modificação das infra-estruturas existentes ou da criação de novas infra-estruturas. O mapa de Tipo 2 é elaborado para escalas de representação de 1/5000 e 1/2000, sendo um elemento útil nos estudos de impacte ambiental, assim como no estudo das influências em planos rodoviários apoiando a identificação de “pontos negros” no âmbito do ambiente sonoro. Por último, um mapa de Tipo 3 é elaborado para escalas de representação de 1/ 2000, 1 /1000 e 1/500, podendo ser utilizado em estudos relativos à viabilidade operacional de fontes sonoras e levantamento de queixas, por exemplo.

Para o mapeamento do ruído de zonas extensas, a realização de medições para todos os dados de entrada dos modelos de emissão de ruído é praticamente impossível. Muitas vezes, são utilizados modelos para estimar estes parâmetros e calibrar um pequeno conjunto de medições (neste caso, contagens de tráfego).

Normalmente, os modelos de tráfego foram desenvolvidos para a resolução de problemas de tráfego ou logísticos e não para o desenvolvimento de estudos de impacte ambiental, existindo muitas vezes um vazio entre o que os modelos de tráfego podem proporcionar e o que os estudos no âmbito da acústica necessitam. Assim, no âmbito das

aplicações, há que ter em conta a relação entre a qualidade (ou exactidão dos resultados) e a eficácia (em termos de tempo de computação e de validação de dados). Neste contexto, podem ser distinguidos três níveis de aplicação: as aplicações que implicam cálculos detalhados, utilizadas em situações críticas (por exemplo, em tribunais), em que é essencial uma grande exactidão nos dados de entrada, o que inclusivé pode requerer a realização de medições para a sua aquisição (por exemplo, medições da impedância do solo). Outro tipo de aplicações diz respeito à avaliação em termos de estudos de impacte ambiental, como, por exemplo, a construção de novas estradas ou a implementação de novos edifícios, sendo necessário neste caso efectuar cálculos detalhados, mas podendo-se também recorrer a valores por defeito (por exemplo, dados de entrada específicos do projecto, como o fluxo de tráfego e os dados geométricos que devem ser o mais detalhados possível, enquanto que os dados de entrada, como os parâmetros meteorológicos e impedâncias do solo, dada a sua indisponibilidade, se pode utilizar valores por defeito). Finalmente, no caso do mapeamento do ruído, é possível usar dados de entrada mais gerais, por exemplo, distribuições de veículos padrão baseadas no tipo de classificação da estrada, e utilização de geometria menos detalhada, de modo a abreviar cálculos muito morosos. No entanto, é necessário ter em atenção que a exactidão do resultado final depende da exactidão dos dados de entrada.

O nível sonoro num dado ponto (*immission* em Inglês) é obtido a partir da combinação da emissão de todas as fontes consideradas (ruído de tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e ruído industrial), avaliando a respectiva propagação sonora até ao receptor considerado com utilização de grelhas de receptores espacialmente distribuídos e de algoritmos de interpolação numérica para a obtenção das isófonas.

Na elaboração e interpretação de um mapa de ruído, é essencial ter em conta que aos valores apresentados estão associados dois tipos de incerteza: a incerteza relativa à própria modelação do ruído, essencialmente caracterizada pela incerteza associada aos dados de entrada e aos parâmetros do modelo, e a incerteza associada ao próprio modelo de cálculo e à sua transposição para uma versão computadorizada a 3D.

A caracterização das incertezas dos dados de entrada envolve o estudo de cada um dos vários tipos de dados necessários para a elaboração de um mapa de ruído. Estas incertezas provêm de diversas fontes, incluindo aspectos que se relacionam com a

medição e a avaliação. Por exemplo, incertezas associadas com a posição das fontes, geometria dos obstáculos, topografia, dados relativos aos fluxos de tráfego e valores por defeito para as condições meteorológicas. Para a compreensão do modo com cada tipo de incerteza está distribuída é necessário uma ligação entre especialistas dos vários domínios, que contribuem para a quantificação destes dados. Usualmente, pode-se admitir que a incerteza associada a cada conjunto de dados de entrada segue uma distribuição normal. A realização de uma análise de sensibilidade permite estudar variações do modelo de saída, a partir do estudo das variações associadas a cada conjunto de dados de entrada.

Outro aspecto que contribui para a modelação da incerteza é o método de implementação do modelo (traduzido habitualmente por uma norma) num programa de cálculo e do funcionamento das ferramentas para as simplificações adicionais ou técnicas de eficiência e suposições utilizadas. Existe ainda um aspecto secundário relacionado com as incertezas associadas com a transposição da norma, referenciada numa ferramenta de cálculo automática a 3D, e com as técnicas de eficiência de cálculo utilizadas e respectivas simplificações introduzidas.

Finalmente, refira-se que as incertezas não acabam com a obtenção dos níveis sonoros, pois o objectivo final de um mapa de ruído é a quantificação do número de residentes dentro de cada classe de ruído. Com esta finalidade, as isolinhas de ruído são geradas com utilização de técnicas de interpolação e combinadas com os dados populacionais, o que introduz ainda mais fontes de incerteza.

3.3 Medidas de minimização do ruído de tráfego rodoviário em zonas urbanas

3.3.1 Introdução

Para a gestão e redução das emissões sonoras e respectiva exposição das populações, podem ser distinguidas diferentes categorias de medidas de minimização de ruído, designadamente, no âmbito de medidas para a redução do ruído na fonte, no âmbito de medidas para a redução da propagação do ruído o mais próximo possível da fonte, de

modo a proteger um maior número de pessoas, e no âmbito das medidas de minimização do ruído no receptor. Assim, tem-se:

1) Na fonte:

Adopção de pavimentos rodoviários com características absorventes sonoras, sistemas de gestão do tráfego (utilização de sistemas de controlo de tráfego de sinalização sincronizada, a adopção de medidas de alteração de tráfego, com a introdução de zonas de baixa velocidade de circulação rodoviária, zonas de restrição ao tráfego de veículos pesados, e introdução de rotundas), a adopção de pneus com baixa emissão de ruído e/ou adopção de comportamentos de condução rodoviária mais favoráveis. A nível europeu este tipo de medidas é essencialmente introduzido no âmbito de directivas comunitárias.

2) Na propagação:

Planeamento do uso do solo e respectiva gestão (por exemplo, a partir da definição de zonas sensíveis ao ruído, a que estão associadas limites de ruído), construção de edifícios com usos comerciais ou de serviços funcionando como barreiras acústicas relativamente a edifícios de habitação, implantação de barreiras acústicas e túneis, utilização de vegetação para protecção acústica, cuja função se situa essencialmente ao nível da incomodidade e da agradabilidade do ambiente, em vez da redução física do ruído.

3) No receptor (a utilizar somente se as outras medidas são ineficazes):

Reforço do isolamento sonoro dos edifícios, disposição urbanística do edificado mais favorável ao aparecimento de zonas ambientalmente favorecidas em termos de níveis sonoros, com a introdução de fachadas “calmas”, organização da compartimentação interior de modo a que os espaços mais sensíveis ao ruído (quartos e zonas de estar) estejam mais protegidos.

A primeira categoria de medidas de minimização de ruído na fonte é claramente a mais eficaz e a que apresenta uma relação custo-eficácia mais favorável. Além disso, existe um conjunto de medidas sócio-económicas que podem ser consideradas, tais como a

introdução de taxas de ruído, incentivos económicos à utilização de veículos menos ruidosos e a redução da necessidade de transportes. No entanto, para uma decisão sustentável de quais as medidas a implementar para a redução da poluição sonora, a percepção dos cidadãos é um factor chave a ter em consideração. É, de facto, importante saber como o ruído é apercebido pelas populações e como esta análise é traduzida em termos de mapas de ruído, para que seja possível optar pelo melhor tipo de medidas que efectivamente poderão diminuir a incomodidade apercebida.

No âmbito do projecto SILENCE (*Sustainable Development, Global Change & Ecosystems*), integrado no 6º Programa Quadro de I&D da União Europeia, foi realizada investigação sobre o estado da arte das políticas e ferramentas para a redução de ruído nas cidades [Vancluysen *et al.*, 2005]. Neste contexto, foi efectuada uma síntese das estratégias planeadas para a redução do ruído devido aos sistemas de transporte em cidades europeias. Salienta-se o caso da cidade de Barcelona, em que grande parte da estratégia de redução do ruído assenta na informação e no despertar dos cidadãos para o problema do ruído. De facto, este problema é paradoxal, uma vez que as pessoas sofrem devido ao ruído e, no entanto, são elas que o produzem. Assim, o referido programa de redução de ruído assenta em três modos distintos de actuação, respectivamente:

- Implementação de uma estratégia com o intuito de despertar a atenção e comunicação com as populações, englobando acções de promoção de transportes públicos, campanhas de alerta dos cidadãos relativamente ao ruído, campanhas nas escolas e cooperação com associações de cidadãos.
- Implementação de estratégias de correcção, em que se incluem acções de correcção de situações inadequadas por meio de legislação, controlo e sanções, subdivididas em três programas de intervenção:

- a) programa de correcção do ruído de fundo (infra-estruturas, licenças de actividade, frotas de carros municipais, extensão de ciclovias, promoção de partilha de carros por meio de associações e revisão da sincronização de semáforos);

- b) programa de correcção de sons de pico, de fontes móveis (transportes de mercadorias, motociclos e automóveis, por meio do estabelecimento de programas para a detecção de veículos ruidosos, respectiva inspecção e execução de acções legais, e renovação do parque de motociclos);

- c) programa de correcção de sons de pico de fontes estacionárias (actividades de lazer nocturnas e trabalhos de construção);
- Implementação de estratégias de coordenação, que englobem acções de todos os intervenientes a nível municipal.

Deste modo, pode-se dizer que existem três instrumentos para a redução do ruído, designadamente: informação dos agentes que provocam o ruído e aos cidadãos sobre a sua importância (em que se incluem a indicação sobre boas praticas de redução de ruído); o recurso a programas para obtenção de compromissos para a redução de ruído (por exemplo, com os serviços médicos, companhias de transporte e estações de reparação de automóveis) e de responsabilização por parte dos produtores do ruído, assim como a cooperação dos indivíduos implicados; e, finalmente, o recurso a actividades de controlo e estabelecimento de sanções, em que o produtor de ruído é informado sobre o problema causado e, caso não haja lugar à correcção devida, seja aplicada uma sanção, de acordo com a legislação em vigor.

A título informativo, no que respeita a medidas mais técnicas, relacionadas com as infra-estruturas rodoviárias, refira-se a adopção de pavimentos com características de absorção sonora, que permitem reduzir os níveis sonoros entre 2-3 dB(A), podendo atingir valores de 4-5 dB(A) para velocidades médias superiores a 50 km/h, a implementação de barreiras acústicas, e a utilização de janelas de vidro duplo.

Resumidamente, pode-se dizer que, para a redução dos níveis sonoros em zonas urbanas, poderão ser utilizadas estratégias quer de longo prazo, quer de curto prazo.

As acções continuadas de sensibilização e educação dos cidadãos, que englobam a informação dos cidadãos, em geral, dos alunos nas escolas, em particular, por integração da componente do ruído nos programas escolares de educação ambiental, geram uma maior aceitação dos princípios e soluções para controlo de ruído, embora só produzam efeitos a médio e longo prazo. Tendo em conta que em zonas urbanas o ruído de tráfego rodoviário é predominante, salienta-se a importância de uma adequada politica de gestão de tráfego, que inclua restrições à travessia e/ou acesso de veículos pesados, concentrações de tráfego em determinados eixos e diferenciação de velocidades de circulação com a criação de zonas de velocidade reduzida. As acções de educação dos condutores, relativamente ao seu comportamento na estrada, também se pode revelar

importante. As intervenções a nível urbano passam pela estratégia do uso dos solos e de tipos de ocupação dos edifícios, implantação dos edifícios e sua disposição arquitectónica, planeamento das vias de tráfego, política integrada de transportes e de acessos de veículos.

No que respeita a medidas com efeitos a mais curto prazo, estas englobam a adopção de tipologias de pavimentos com características de absorção sonora ou, em casos especiais, nas proximidades de vias de tráfego intenso, o recurso a barreiras acústicas ou então de uma solução de encapsulamento total da fonte (túneis). Refira-se contudo que o redesenho dos grandes eixos viários com aproveitamento de desníveis e muretes poderá conduzir a atenuações sonoras importantes.

3.3.2 Pavimentos com características absorventes sonoras

No que respeita ao estado de conhecimentos no âmbito de pavimentos com características melhoradas de absorção sonora, designados doravante nesta dissertação como “pavimentos pouco ruidosos”, apresenta-se de seguida uma descrição das realizações práticas deste tipo de superfícies, a qual é subdividida em três categorias, tendo em conta o tipo de optimização introduzida para a redução dos níveis sonoros: superfícies optimizadas a nível de textura; superfícies porosas (drenantes) e superfícies elásticas [Descornet et *al.*, 2000].

A- Superfícies optimizadas a nível da textura

Camada de desgaste em tratamento superficial em resinas epoxídicas (EP-GRIP):

Nesta camada o tratamento superficial é de elevado desempenho, e consiste numa mistura de um ligante de resina, com agregados polidos (naturais ou artificiais) de pequeno tamanho. Este tipo de tratamento superficial, de custos dispendiosos devido à elevada qualidade dos seus componentes, é utilizado somente em zonas críticas, onde é necessária uma elevada resistência à derrapagem, como por exemplo, curvas e intersecções [Descornet *et al.*, 2000]. Embora não tenham sido fabricados com o objectivo de minimizar o ruído, em ensaios efectuados em estradas austríacas com este tipo de tratamento superficial (designado comercialmente por ITALGRIP), obtiveram-se,

com recurso ao método CPX, reduções dos níveis sonoros devido à interacção pneu-pavimento, da ordem de 7,8 a 8,4 dB(A). Estas reduções foram mais significativas na região das frequências médias e altas, entre os 500 Hz e os 10 kHz, do que nas regiões das frequências inferiores a 500 Hz [Descornet *et al.*, 2000].

Camada de desgaste em tratamento superficial de exposição de agregados (EACC):

Neste caso o tratamento superficial da camada de desgaste é obtido a partir da distribuição de um conjunto de agentes retardadores (essencialmente açúcar) na superfície de betão quando ainda está fresca, sendo de seguida esta superfície tapada com uma folha de plástico, para evitar a evaporação. Passados um ou dois dias, a folha é retirada e a camada superior de argamassa, que não endureceu (com poucos milímetros de espessura), é removida com recurso a água sob pressão, ficando os agregados expostos. A utilização desta técnica permite obter um bom desempenho no que respeita às emissões sonoras devidas à interacção pneu-pavimento (até 3 dB(A), relativamente ao betão betuminoso tradicional), desde que se obtenha uma macrotextura fina e homogénea, e o alisamento da superfície seja correctamente efectuado. Um dos principais problemas desta técnica está relacionado com o seu custo, pois é necessária a utilização de agregados de qualidade, em toda a espessura da camada, e não apenas à superfície. A sua principal vantagem consiste numa elevada durabilidade. Foram efectuadas aplicações experimentais bem sucedidas em países como a Bélgica, Holanda e Áustria [Descornet *et al.*, 2000].

Camadas betuminosas delgadas

As camadas betuminosas delgadas são, na maior parte dos casos, uma mistura de materiais produzida a quente, com uma espessura entre 20 a 40 mm. São constituídas por agregados com elevada percentagem de vazios preenchidos por betume, argamassa ou mastique. Esta designação inclui um conjunto de diferentes tipos de superfícies que, segundo a classificação de Sandberg e Ejsmont, se pode subdividir em três categorias:

- camadas betuminosas muito finas, com espessuras entre 20 e 30 mm;
- camadas betuminosas ultra-finas, com espessuras entre 12 e 18 mm;
- camadas betuminosas em micro-betão, com espessuras entre 6 e 18 mm.

Entre as camadas betuminosas muito finas, encontram-se as de microaglomerado a frio e as superfícies ultra-finas granuladas. Na categoria das camadas betuminosas ultra-finas,

estão incluídas as misturas betuminosas de granulometria descontínua, como as misturas asfálticas do tipo SMA (*Stone Mastic Asphalt*), os revestimentos finos descontínuos, e os revestimentos superficiais delgados com textura aberta [Descornet *et al.*, 2000].

As misturas betuminosas do tipo SMA são constituídas por uma camada de espessura 3-4mm, com um elevado conteúdo em pedra (entre 70 a 80%), na qual os vazios da matriz de pedra são preenchidos com betume. Tipicamente, o agregado tem uma granulometria de 0/10 e o tamanho dos vazios é de 2/7.

Pode-se dizer que o desempenho acústico das camadas delgadas é um compromisso entre o desempenho acústico das camadas drenantes e o desempenho acústico das misturas betuminosas do tipo SMA. A redução dos níveis sonoros é conseguida por optimização da textura (onde são geralmente utilizados agregados de pequenas dimensões) e não pela absorção do ruído (devido à pequena espessura, o pico na curva de absorção em função da frequência situa-se próximo dos 2000 Hz). Muitas vezes, as misturas são reforçadas pela adição de fibras. De acordo com resultados obtidos em França, a redução do ruído das camadas delgadas, comparativamente com superfícies de betão betuminoso denso pode chegar a 3 dB(A). Estudos efectuados na Holanda indicam reduções dos níveis sonoros entre 4 a 7 dB(A) para camadas delgadas porosas e entre 3 a 5 dB(A) para misturas betuminosas do tipo SMA [Descornet *et al.*, 2000].

B- Superfícies porosas (drenantes):

Camadas únicas de betão betuminoso drenante (poroso)

As camadas de desgaste de betão betuminoso drenante têm um conteúdo muito elevado de agregado ligado (tipicamente, 80-85%), e um elevado conteúdo de vazios (tipicamente, 20%-15%), em que a forma dos vazios é tal que as águas pluviais circulam entre os vazios comunicantes. Uma camada de desgaste em betão betuminoso drenante tem uma espessura de 4 mm [Descornet *et al.*, 2000].

Baseados em medições constantes em estudos franceses e belgas, efectuadas com recurso ao método de passagem estatística de veículos controlada, obtiveram-se, para as camadas de desgaste em betão betuminoso drenante, reduções médias nas emissões devidas à interacção pneu-pavimento da ordem de 3 dB(A), quando comparadas com os

resultados obtidos em camadas de desgaste de betão betuminoso tradicional. É, no entanto, de salientar a elevada dispersão de valores obtidos, atingindo-se em alguns casos reduções dos níveis sonoros de 9 dB(A). No que respeita aos níveis sonoros globais, embora este valor dependa da percentagem de veículos pesados e da sua velocidade de circulação, com recurso ao método da passagem estatística de veículos (ISO 11819-1, 1997), foram obtidas reduções da ordem dos 6-7 dB(A), em condições de circulação em que a percentagem de veículos pesados se situava entre 20 a 30%, e as velocidades médias de circulação de veículos ligeiros e pesados eram respectivamente de 115 km/h e 100 km/h [Descornet *et al.*, 2000].

Estudos alemães conduzidos por Steven, em 1990, referentes à influência do tamanho do agregado no desempenho deste tipo de superfície porosa, constataram, para a velocidade de referência de 50 km/h, uma variação de 2,3 dB(A) com o aumento da granulometria do agregado e numa gama de variação entre 3 e 11 mm, aumentando esta influência com a velocidade de circulação [Descornet *et al.*, 2000].

Uma das grandes vantagens deste tipo de superfícies, admitindo que os vazios interiores não estão colmatados, é uma elevada drenagem da escorrência superficial da pluviosidade, o que facilita a prevenção da hidroplanagem. Por outro lado, em condições de piso molhado, é menor a pulverização e projecção de água, o que contribui para a melhoria das condições de visibilidade. A drenagem interna da água da chuva também contribui para a melhoria das condições de visibilidade nocturna, sob condições de piso molhado. Um dos problemas do ponto de vista de segurança rodoviária da aplicação de camadas drenantes está relacionado com a resistência à derrapagem, que é habitualmente menor, quando comparada com o comportamento das camadas densas [Cardoso, 2008].

Do ponto de vista acústico, um dos principais problemas deste tipo de camadas de desgaste é a tendência para os poros serem colmatados devido a poeiras, lama, óleo, etc., o que pode deteriorar os desempenhos que dependem da drenagem e da porosidade. Para evitar a colmatação dos poros, é utilizada a lavagem periódica do pavimento com água a alta pressão (de 3 em 3 anos, iniciando-se normalmente estes trabalhos no segundo ano). A partir da medição da condutividade hidráulica, antes e depois da lavagem, é possível verificar a eficácia desta operação [Descornet *et al.*, 2000].

No que respeita ao desempenho deste tipo de superfícies ao longo do tempo, resultados de observações efectuadas em França, Alemanha, Reino Unido, Suécia e Bélgica, permitem afirmar que [Descornet *et al.*, 2006]:

- Passados 3 a 4 anos da respectiva entrada em serviço, pode-se esperar ainda um desempenho satisfatório. Passado este período, ocorre normalmente um aumento máximo dos níveis sonoros da ordem dos 2 dB(A). Esta constatação é válida, excepto em condições adversas, como, por exemplo, a existência de uma camada com uma espessura insuficiente, pequeno conteúdo de vazios ou existência de tráfego em que a percentagem de pneus de inverno é significativa.
- A colmatação gradual parece não ter um efeito significativo na deterioração do respectivo desempenho acústico. Este facto foi confirmado por meio de testes experimentais, em que obtiveram variações de apenas 2 dB(A), em pavimentos onde foi efectuada uma colmatação intencional dos poros.

Camadas duplas de betão betuminoso drenante (poroso):

Este conceito foi desenvolvido na Holanda, tendo sido, no início dos anos noventa, construída a primeira secção com este tipo de superfície. Tipicamente, é uma camada dupla de betão betuminoso drenante, que integra uma sub-camada com uma espessura de 4,5 cm de betão drenante e agregado de granulometria variável entre 0/14; 0/16 ou 11/16. A camada superior é constituída por um agregado fino (tipicamente 4/8, mas, algumas vezes com valores 2/4 ou 2/6) e com uma espessura típica de 2,5 cm.

As camadas duplas de betão betuminoso drenante combinam uma textura superficial óptima (agregados finos densamente compactados) e uma absorção sonora otimizada no espectro de frequências entre 500 e 1000 Hz, devido ao elevado teor de vazios (tipicamente entre 25 e 30%). Inicialmente, o desempenho acústico é excelente, obtendo-se, para veículos ligeiros com velocidades de circulação de 50 km/h, reduções das emissões sonoras entre 4 e 6 dB(A).

As soluções em que na camada superior os agregados são mais finos (2/4 e 2/6) têm um melhor desempenho, em cerca de 1,5 dB(A), relativamente às soluções em que na camada superior os agregados têm maiores dimensões. No entanto, as principais desvantagens das camadas porosas também se encontram nas camadas porosas duplas, ou seja, a tendência para a colmatação dos poros, o que provoca uma

degradação da sua eficácia acústica, a uma razão de aproximadamente 1 dB(A)/ ano [Descornet *et al.*, 2006].

Camadas de betão de cimento poroso

O betão de cimento poroso é fabricado, na prática, com a mesma mistura que o betão betuminoso drenante, sendo utilizado cimento Portland como ligante, em vez de betume. Uma firma holandesa desenvolveu uma variante desta modalidade, conhecida pela designação comercial de *Modieslab* (www.modieslab.nl). O desempenho acústico do betão de cimento poroso é da mesma ordem de grandeza que o betão betuminoso drenante, sendo, no entanto, espectável uma maior durabilidade e uma menor colmatação. Curiosamente, este facto ainda não foi comprovado experimentalmente. As principais desvantagens deste tipo de superfície residem no seu custo, assim como nas exigências necessárias para a respectiva construção.

Pavimentos do tipo “euphonic”

O “*euphonic pavement*” pertence ao grupo dos novos tipos de pavimento, tendo sido desenvolvido por Ejsmont em 1980 [Descornet *et al.*, 2006]. A estrutura deste tipo de pavimento consiste numa camada de betão betuminoso poroso, com uma espessura entre os 40-60 cm, disposta sobre uma laje de betão pré-esforçado, a qual inclui ressoadores de Helmholtz (tipicamente com um volume de 500 cm³), projectados para absorver frequências baixas.

Este tipo de pavimento é uma extrapolação do tipo de pavimentos com características absorventes sonoras em multi-camada. Ensaios experimentais realizados em pequena escala mostraram que, graças à combinação das duas camadas que absorvem em regiões espectrais distintas, é possível obter um coeficiente de absorção sonora constante igual a 0,6 dB em todo o espectro de frequências. No entanto, o único ensaio experimental realizado em grande escala (numa auto-estrada em Itália, entre Roma e Anagni, no âmbito do projecto europeu SIRUUS), os resultados obtidos não foram convincentes [Descornet *et al.*, 2006]. De facto, as medições de ruído efectuadas revelaram um bom desempenho acústico. No entanto este situava-se basicamente entre 1 a 2 dB(A), ou seja inferior ao resultado obtido com as camadas duplas de betão

betuminoso drenante, o que, adicionado ao seu elevado custo, não justifica a sua construção.

C- Superfícies elásticas:

Misturas betuminosas modificadas com borracha

Podem citar-se como exemplos deste tipo de superfícies as camadas de desgaste de betão betuminoso denso ou de mistura betuminosa do tipo SMA (*Stone Mastic Asphalt*), com uma determinada percentagem de granulado de borracha adicionada à mistura. No processo de adição a seco, os grânulos de borracha são adicionados à mistura betuminosa (tipicamente entre 3% a 6% do peso total), obtendo-se o que se designa na terminologia anglo-saxónica por “*rubberized asphalt*”. No processo de adição de borracha por via húmida, a borracha é pulverizada (até 15%, mas tipicamente 7%), de modo a modificar o ligante [Ripke *et al.*, 2005].

Desde 1999 que são aplicadas em Portugal misturas betuminosas com betume modificado com borracha (BMB), obtidas por via húmida, em que o agregado de borracha têm origem na reciclagem de pneus em fim de vida. As misturas betuminosas utilizadas incorporam no mínimo cerca de 20% de borracha relativamente à massa total do ligante (o processo de fabrico está definido pela norma ASTM D 61). Estas aplicações compreendem misturas rugosas (designadas pela sigla BMB-MR), e misturas abertas (designadas pela sigla BMB-MA). Nas misturas betuminosas rugosas de BMB-MR, a porosidade é da ordem dos 4,5 a 6,5 %, utilizando-se tipicamente camadas com uma espessura variável entre 3 e 6 cm, dependendo da respectiva aplicação. No que respeita às misturas betuminosas abertas BMB-MA, a porosidade é da ordem dos 9 a 15%, utilizando-se tipicamente camadas com uma espessura variável entre 2,5 e 4 cm, consoante o projecto de dimensionamento.

De acordo com [Sandberg *et al.*, 2005], até 2002 não existia evidência conclusiva de que a adição de pequenas quantidades de borracha a uma mistura betuminosa reduzia os níveis de emissão sonora produzidos pelos veículos em circulação. Em 2004, Donovan efectuou uma campanha de medição comparativa em vários pavimentos rodoviários nos EUA (Arizona e Califórnia) e na Europa, com o método CPX, baseado na técnica de medição por intensimetria acústica [Ripke *et al.*, 2005]. Nesta campanha obteve níveis de

emissão sonora entre 94,5 dB(A) e 96,5 dB(A), para pavimentos de dupla camada de betão betuminoso drenante, e níveis de emissão sonora entre 95,5 dB(A) e 97,5 dB(A), para os pavimentos de betão betuminoso modificado com borracha (RAC). Na Figura 3.2 apresenta-se um sumário dos resultados obtidos nesta comparação, para os seguintes pavimentos: camadas de desgaste de betão betuminoso drenante de dupla camada, com agregado de granulometria 2/6 (DLPA 2/6), 4/8 (DLPA 4/8); betão betuminoso drenante, com agregado de granulometria 4/8 (PA 4/8); betão de cimento poroso (PCC); betão betuminoso drenante (LA 138); tipo desconhecido de betão modificado com borracha (LA138 RAC) e betão modificado com borracha (ARFC).

Pela análise dos resultados apresentados na Figura 3.2, é possível verificar que o pavimento com a camada de desgaste de betume modificado com borracha (ARFC) tem uma eficácia na redução do ruído comparável à obtida com as superfícies betuminosas drenantes europeias mais eficientes. Note-se que as superfícies em ARFC, no Arizona, têm demonstrado uma durabilidade muito significativa, verificando-se uma degradação do seu desempenho acústico ao longo dos anos, a uma razão de 0,3 dB(A) por ano . [Ripke *et al.*, 2005]. De facto este valor é muito inferior à degradação típica do desempenho acústico de um pavimento drenante, ao longo do tempo.

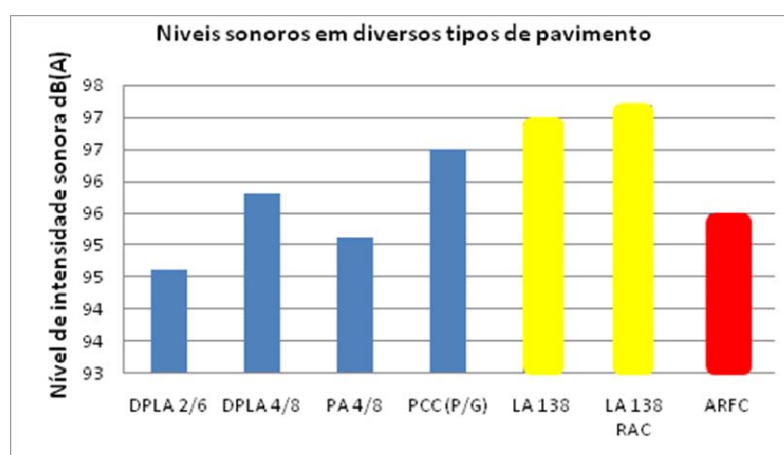


Figura 3.2-Resultados obtidos por Donovan em diversos tipos de pavimento; as barras a cor azul, amarela e vermelha correspondem respectivamente a pavimentos existentes na Europa, na Califórnia e no Arizona [figura adaptada de Ripke *et al.*, 2005]

Superfícies poro-elásticas

Uma superfície poro-elástica tem um conteúdo muito elevado de vazios comunicantes (pelo menos de 20% do seu volume), de modo a facilitar a passagem de ar e de água

através deles. Esta superfície (conhecida pela sigla anglo-saxônica PERS), apresenta uma elevada elasticidade, uma vez que o agregado principal é constituído por borracha (ou por produtos elásticos) em cerca de 20% da sua massa total. Actualmente, a mistura típica de PERS consiste em partículas de borracha de forma cúbica ou partículas de fibra de borracha (derivadas, por exemplo, da reciclagem de pneus), areia ou outro agente que melhore a fricção, coladas entre si por meio de uma resina artificial. A espessura típica deste tipo de superfície é de 3-4 cm. A PERS pode ser fabricada no local ou pré-fabricada em tapetes, sendo a colagem à camada subjacente efectuada no local. Geralmente, este tipo de superfícies apresenta reduções significativas dos níveis sonoros (tipicamente entre 10 a 12 dB(A)). No entanto, ainda apresentam alguns problemas, designadamente uma ligação insuficiente com a camada subjacente, valores insatisfatórios de resistência à derrapagem e deterioração devido à acção da neve. Para além destes problemas, deve-se salientar que as actuais formulações têm custos elevados, encontrando-se actualmente ainda em fase de desenvolvimento. O estado da arte dos conhecimentos relativamente a este tipo de superfícies pode ser consultado em [Sandberg *et al.*, 2005].

3.3.2.1 Síntese das experiências em alguns países europeus

De seguida é apresentada uma síntese das experiências nacionais em alguns países europeus. Esta parte finaliza com uma síntese dos resultados obtidos no projecto europeu SILVIA [Sandberg *et al.*, 2005].

Síntese da experiência holandesa

Em 1990, foi desenvolvido na Holanda o conceito de camadas de desgaste drenantes e em 1997 apareceu um novo conceito, nomeadamente o de camada dupla, em que a camada superior é constituída por agregados de granulometria muito pequena. A utilização deste tipo de superfície permite uma redução no ruído de tráfego rodoviário entre os 3 a 4 dB(A) para velocidades de circulação de 50 km/h e reduções de 5,5 dB(A) para velocidade da ordem dos 100 km/h. Os problemas devido à colmatção dos poros podem ser ultrapassados recorrendo a uma técnica de lavagem, entretanto desenvolvida e designada por “*Keradrain*” [Bochove, 1998].

Estudos efectuados [Gibbs *et al.*, 2005] permitiram constatar que, em situações de condução urbana, as misturas porosas não têm desempenhos tão favoráveis como as misturas betuminosas densas, pelo que na Holanda a utilização de pavimentos betuminosos drenantes (camada única ou dupla) nas auto-estradas e a utilização de pavimentos de camadas betuminosas delgadas em zonas urbanas tem sido preferida. Estudos efectuados [Gibbs *et al.*, 2005] permitiram constatar que as camadas betuminosas delgadas têm uma relação custo-eficácia mais favorável, embora só permitam uma redução limitada dos níveis sonoros (1 a 3 dB). No caso da Holanda, embora os pavimentos drenantes sejam mais dispendiosos, se forem comparados com os custos associados a implementação de uma barreira acústica, tem uma relação custo-eficácia mais favorável.

Síntese da experiência dinamarquesa

Em 1990, a Danish Road Directorate estudou o comportamento das camadas de desgaste de betão betuminoso drenante de camada única em vias rodoviárias com elevadas velocidades de circulação de veículos e em vias urbanas. No primeiro caso, foram obtidas reduções de ruído efectivas, enquanto que, no segundo, os resultados não foram tão expressivos. Na Dinamarca, foram efectuadas várias campanhas de medições com o intuito de avaliar o desempenho dos pavimentos rodoviários ao longo dos anos. As camadas de desgaste de betão betuminoso drenante, com agregados de granulometria de 8 mm e grande teor de vazios (cerca de 22%), obtiveram o melhor desempenho acústico (reduções nos níveis sonoros entre 3 a 4 dB) ao longo dos anos.

Em 1999, foi iniciado um novo projecto, com a utilização de camadas de desgaste de betão betuminoso poroso de dupla camada, cujo objectivo era reduzir o ruído de tráfego rodoviário em aproximadamente 2/3 dos edifícios habitacionais expostos a níveis sonoros superiores a 65 dB(A), até ao ano de 2010 [Bendtsen *et al.*, 2002]. No que respeita a avaliações custo-eficácia para as várias medidas de minimização, foram efectuadas análises para três zonas distintas (duas em zonas urbanas e a terceira em auto-estrada), considerando três tipos de medida: pavimento com camada de desgaste de betão betuminoso drenante (instalado há apenas 3 anos), barreira acústica e reforço do isolamento sonoro das fachadas. Os resultados obtidos permitiram concluir que, comparativamente às barreiras acústicas e ao reforço do isolamento sonoro das

fachadas, a implementação de pavimentos drenantes permite a obtenção de uma razão custo-eficácia mais favorável.

Síntese da experiência austríaca

Na Áustria, os primeiros pavimentos drenantes foram construídos em 1984, tendo-se verificado nos anos seguintes um incremento significativo da sua construção. Actualmente, a maior parte deste tipo de pavimentos (cerca de 80%) tem um tempo de vida superior a 10 anos. No entanto, após um uso extensivo, a aplicação deste tipo de camada de desgaste é cada vez mais reduzida, tendo em conta os enormes requisitos de manutenção durante o Inverno [Litzka, 2002].

Síntese da experiência italiana

Em 1999, foi iniciado um projecto de investigação entre a Universidade de Pisa e a autoridade italiana de estradas, que conduziu à construção de camadas de desgaste de betão betuminoso drenante (camada única e de dupla camada) em auto-estrada, com um tráfego da ordem de 30000 veículos por dia. Medições efectuadas passados 6 meses mostraram que as reduções dos níveis sonoros das camadas drenantes duplas, comparativamente com a solução da camada betuminosa tradicional, eram, em média, cerca de 5 dB(A) [Poggi *et al.*, 2000]. Até ao ano de 2003, cerca de 35% das auto-estradas italianas estavam pavimentadas com camadas de desgaste de betão betuminoso drenante, com agregados de granulometria 0/16 mm. Actualmente, a tendência é a de diminuir a granulometria do agregado para 0/11 mm ou 0/8 mm [Gibbs *et al.*, 2005].

Síntese da experiência norueguesa

Em 1989, iniciou-se na Noruega um grande projecto de investigação relativo à mitigação do ruído de tráfego rodoviário usando superfícies poro-elásticas. No âmbito deste projecto, foi construído em Oslo um pavimento com cerca de 35% de teor de vazios e com uma espessura de 19 mm, integrando granulado de borracha de 8 mm de espessura. As medições efectuadas permitiram constatar uma redução dos níveis sonoros da ordem dos 5-6 dB(A). No entanto, o pavimento apresentou alguns problemas importantes na adesão à camada subjacente [Arnevik, 1999].

Síntese da experiência sueca e japonesa

Desde o início do ano 2000 que o instituto japonês de investigação em engenharia civil (PWRI) e o instituto congénere sueco (VTI) desenvolvem e estudam em conjunto quatro novos tipos de superfícies poro-elásticas. O objectivo é tentar ultrapassar os problemas principais encontrados nas superfícies poro-elásticas, designadamente: a sua durabilidade, a resistência ao fogo, a adesão à camada subjacente, a resistência à derrapagem e os custos. No que respeita ao desempenho acústico, resultados de medições efectuadas nas quatro superfícies testadas permitiram constatar reduções dos níveis sonoros entre 5 e 15 dB(A), relativamente às soluções de betão betuminoso denso [Sandberg *et al.*, 2000].

Projecto Europeu SILVIA

Nas Figuras 3.3 e 3.4, apresenta-se um resumo dos resultados compilados no âmbito do projecto europeu SILVIA (*sustainable road surfaces for traffic noise control*), relativamente aos níveis sonoros emitidos por veículos (ligeiros, veículos pesados de dois eixos e veículos pesados com mais de dois eixos), obtidos pelo método SPB, para valores de velocidades de circulação de 100 km/h (veículos ligeiros) e de 85 km/h (veículos pesados), em diferentes pavimentos rodoviários [Andersen *et al.*, 2005]. Note-se que o objectivo deste projecto de investigação era a avaliação de diferentes tipos de pavimentos “pouco ruidosos” utilizados na Europa e o estabelecimento de níveis sonoros típicos para a emissão de ruído de tráfego rodoviário na interface pneu-pavimento.

Nas Figuras 3.3 e 3.4 apresentam-se os níveis sonoros médios, e a respectiva dispersão de valores, para os tipos de pavimento indicados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Siglas utilizadas para designar os pavimentos nas figuras 3.3 e 3.4

DAC (Ag 8-16 mm)	Betão betuminoso denso
DPAC (Ag 5-11 mm)	Betão drenante de camada dupla
EACC (Ag 10mm)	Betão de cimento com tratamento superficial de exposição de agregados
PAC (Ag 8-16 mm)	Betão drenante
PCC (Ag 8mm)	Betão de cimento poroso
SMA (Ag 8-16 mm)	Mistura betuminosa de granulometria descontínua
TSF (Ag 8 mm)	Camadas delgadas

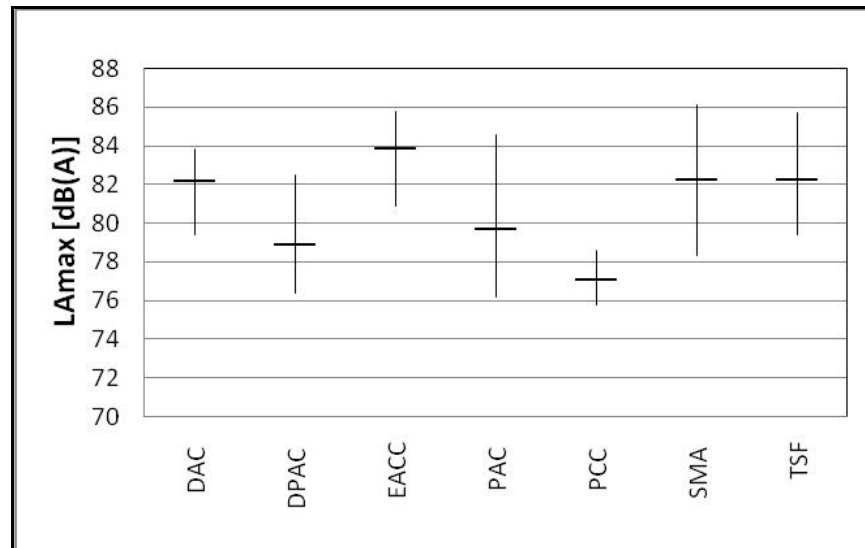


Figura 3.3 – Níveis sonoros para veículos leves em diferentes tipos de pavimento rodoviários e para velocidades de circulação de 110 km/h.

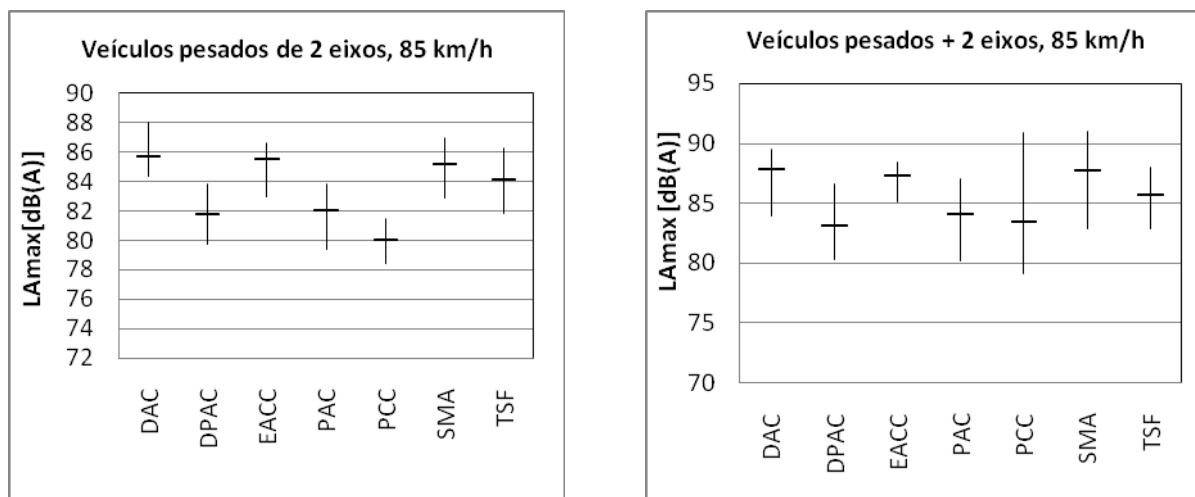


Figura 3.4 - Níveis sonoros para veículos pesados, em diferentes tipos de pavimento rodoviários, para velocidades de circulação de 85 km/h.

3.3.3 Barreiras acústicas

Por todo o mundo, existem muitos tipos, formas, materiais e configurações de barreiras acústicas, uma vez que a sua utilização como medida de minimização do ruído de tráfego rodoviário é uma prática comum em vários países. Para obter uma ideia geral dos diversos tipos de materiais utilizados em barreiras acústicas, tratamentos superficiais, principais vantagens e inconvenientes de cada solução, sugere-se a consulta da publicação da *Federal Highway Administration*, dos EUA [Fleming *et al.*, 2000].

A interposição de uma barreira acústica interrompe a linha de vista entre a fonte sonora e o receptor, originando fenómenos de reflexão e difracção (pelo topo e pelos bordos laterais da barreira). Na Figura 3.5 apresenta-se esquematicamente os efeitos decorrentes dos fenómenos físicos anteriormente referenciados [Certu, 1980], recorrendo-se ao conceito de raio sonoro da acústica geométrica para a representação dos fenómenos de reflexão, difracção e absorção das ondas sonoras.

Em geral, a atenuação de ruído causada por uma barreira, depende da diferença de percurso da onda sonora entre a fonte e o receptor, com e sem a presença da barreira acústica ($A+B-D$, como se indica na Figura 3.5). Este valor é dependente do comprimento de onda λ , verificando-se um decréscimo da atenuação conferida na gama das frequências baixas. Estes dois parâmetros podem ser combinados no numero de Fresnel (N), expresso por:

$$N = \frac{2(A + B - D)}{\lambda} \quad (3.15)$$

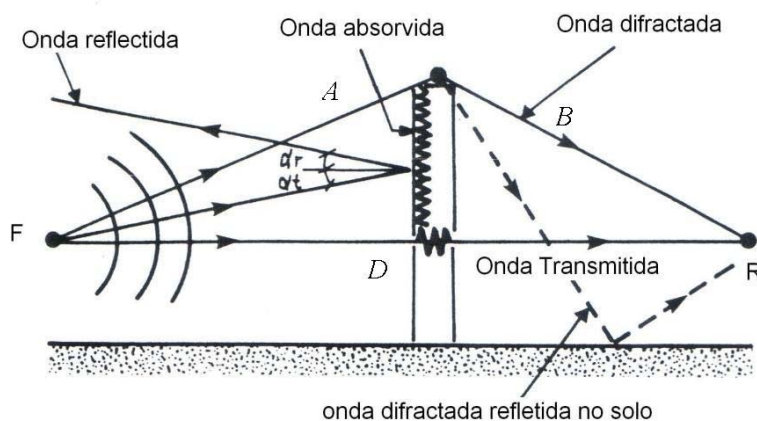


Figura 3.5 – Efeitos da interposição de uma barreira entre a fonte sonora e o receptor [adaptada de CERTU, 1980]

Para além do tipo de barreiras mais comuns, ou seja, as barreiras planas reflectoras, existem barreiras mais eficientes, que se podem agrupar em três categorias: as barreiras planas absorventes, as barreiras inclinadas ou encurvadas e as barreiras com topos difractores ou com bordos laterais múltiplos.

As barreiras acústicas do tipo absorvente podem ser constituídas por sistemas que integram painéis metálicos perfurados (usualmente de aço, alumínio ou aço inoxidável), em que as faces viradas para o lado da via de tráfego incorporam materiais fibrosos no

seu interior (normalmente fibra de vidro ou lã mineral). A perfuração dos painéis viabiliza a transferência de energia sonora para o material fibroso que está colocado no interior do painel, originando a absorção de uma parte importante da energia sonora incidente. Este facto reduz o ruído reflectido pela barreira e contribui para a redução dos níveis sonoros na zona envolvente. Neste tipo de barreiras, a face de tardo não é perfurada de modo a inviabilizar a transmissão do ruído através da barreira [Watts, 1995]. Outros tipos de barreiras absorventes são construídas com sistemas em que os painéis são constituídos por materiais porosos de textura aberta. Neste tipo de material, o fenómeno de absorção sonora é devido às perdas por fricção nos vazios interligados da camada permeável. Geralmente, neste tipo de sistemas, é necessária uma face de tardo sólida e impermeável, de modo a evitar a transmissão sonora através do painel. Exemplos destes tipos de sistemas incluem painéis construídos em betão com uma estrutura porosa aberta e leve. O último tipo de barreiras absorventes engloba os sistemas que integram cavidades ressonantes. Nestes a face virada para a via de tráfego contém fendas ou ranhuras que estão ligadas a cavidades internas. O fenómeno de ressonância ocorre para frequências seleccionadas, de acordo com o dimensionamento geométrico da cavidade interior. De modo a alargar o espectro de absorção em frequência, são, normalmente, incluídos nas cavidades interiores materiais fibrosos absorventes sonoros [Watts, 1995].

Uma alternativa à utilização de barreiras acústicas absorventes planas é a utilização de barreiras reflectoras com uma determinada inclinação vertical (variável, usualmente, entre ângulos definidos com a vertical de 5° a 15°), em direcção ao exterior da via de tráfego. O objectivo desta técnica é conseguir a deflexão, para o espaço superior, da onda reflectida pela face da barreira virada para a via. Deste modo, os receptores localizados próximo do solo podem beneficiar de uma atenuação suplementar. Resultados comparativos entre a utilização de barreiras paralelas planas e barreiras paralelas com uma determinada inclinação vertical, decorrentes da utilização de modelos à escala, permitiram concluir que o aumento da perda por inserção devida à instalação de barreiras paralelas reflectoras com uma inclinação de 10° ou superior é similar ao produzido pela utilização de barreiras paralelas absorventes [Watts, 1995]. Um dos principais problemas decorrentes da utilização de barreiras acústicas inclinadas é a influência das condições meteorológicas adversas, uma vez que a ocorrência do fenómeno de refacção sonora pode inviabilizar o efeito pretendido com a inclinação da barreira.

Recentemente, têm sido desenvolvidos numerosos sistemas, que parecem revelar um melhor desempenho acústico do que as barreiras acústicas planas, de uso corrente. Neste âmbito, existem dois casos distintos: as barreiras acústicas com diferentes formas e as barreiras acústicas com bordos difractores múltiplos. Entre as barreiras com diferentes formas, existem as barreiras que têm topos difractores em forma de T, em forma de Y, e em forma de cilindro. Muitos destes sistemas incorporam materiais absorventes sonoros ou cavidades ressonantes projectadas de modo a promover interferências entre as ondas sonoras difractadas. No entanto, um dos problemas com estes últimos tipos de dispositivos é a estreita gama de frequências para a qual a correspondente eficácia é significativa. Comparando com o desempenho de uma barreira plana, com uma altura de 2 metros, a utilização de topos difractores conduz a uma melhoria na eficácia da barreira, em termos médios, que pode variar entre 0,5 a 3,5 dB(A) [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005].

[Ishizuka e Fujiwara, 2004] efectuaram uma série de estudos teóricos utilizando modelos de simulação para a determinação da eficácia de barreiras acústicas de 3 m de altura, com bordos difractores de diversas formas, e propriedades acústicas específicas (absorventes e reflectoras), baseados no método de elementos de contorno (BEM). Nas simulações efectuadas, foi utilizado para o ruído de tráfego rodoviário o espectro europeu normalizado, definido na norma EN 1793-3 [CEN, 1997]. A fonte sonora estava localizada a uma distância de 8 m da zona central da barreira que tinha 3 m de altura. Foram calculadas as perdas por inserção da barreira acústica para 6 posições do receptor, a distâncias de 20, 50 e 100 m da barreira, e para duas alturas relativamente ao solo (1,5 e 3 m). Na Tabela 3.4 mostram-se os resultados obtidos para o valor da perda média por $IL_{média}$, para os diferentes tipos de bordos difractores considerados, e a correspondente variação relativamente aos resultados obtidos para uma barreira plana reflectora de 3 m (variação IL). Saliente-se o facto de o valor correspondente à perda média por inserção da barreira (correspondente ao valor médio das perdas por inserção para as 6 posições do receptor em dB) poder ser considerado como uma medida global do desempenho da barreira, enquanto o parâmetro variação traduz a eficácia dos diferentes tipos de bordos difractores.

Tabela 3.4 – Resultados obtidos nas simulações de Ishizuka [adaptado de Ishizuka e Fujiwara, 2004].

Configuração da barreira	IL média [dB]	Varição IL [dB]
Plana		
3m	15,2	0,0
4m	17,3	2,1
5m	18,9	3,7
6m	20,1	4,9
7m	21,1	5,9
8m	22,0	6,8
9m	22,8	7,6
10m	23,4	8,2
Rectangular (espessura de 1m)		
Reflectora	16,2	1,0
Absorvente	19,7	4,5
Forma T		
Rígida	17,1	1,9
Absorvente	20,5	5,3
Forma Cilíndrica		
Rígida	14,7	-0,5
Absorvente	19,2	4,0
Forma Cilíndrica Dupla		
Rígida	17,9	2,7
Absorvente	20,4	5,4
Forma Y		
Rígida	18,3	3,1
Absorvente	20,4	5,2
Múltiplos Bordos		
Duplo	17,6	2,4
Painéis laterais	15,4	0,2

Em 1995, [Watts, 1995] efectuou uma série de medições experimentais num dispositivo especialmente construído para o ensaio da eficácia dos topos difractores inseridos em barreiras acústicas. Nestes ensaios foi utilizada como fonte sonora um altifalante colocado a uma distância de 5,5 e de 7,8 m da barreira, tendo sido registados os níveis sonoros às distâncias de 20, 40 e 80 m por detrás da barreira, para as alturas de 1,5 e 4,5 m, acima do solo. Foram ensaiados vários tipos de bordos difractores e comparados os resultados obtidos relativamente a uma barreira com uma altura de 2 m. Na Figura 3.6 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos.

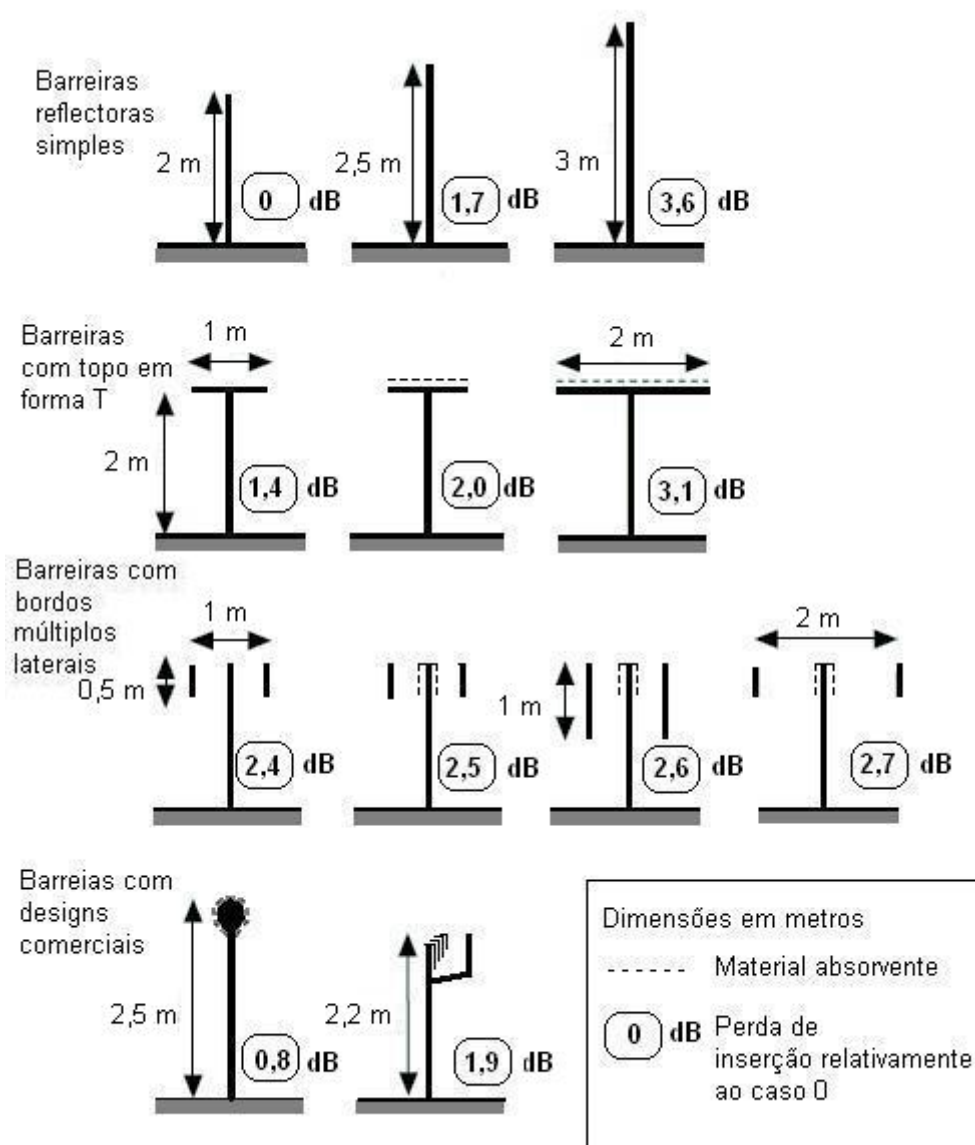


Figura 3.6 – Resultados experimentais comparativos do desempenho de diferentes bordos difractores [adaptada de Watts, 1995].

Refira-se ainda a realização de ensaios em barreiras acústicas que integram dispositivos que permitem o recurso à técnica de controlo activo de ruído e onde se verifica a existência de uma atenuação sonora adicional, relativamente aos valores obtidos com a utilização de bordos difractores com características de absorção acústica, devido a interferências destrutivas. No entanto, para estes estudos somente foram contempladas posições dos receptores relativamente próximas da barreira (até distâncias iguais ou inferiores a 10 m), pelo que será necessário contemplar outras distâncias e formas de actuação do dispositivo de controlo activo de ruído [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005].

No que respeita ao impacte visual associado às barreiras acústicas, estes dispositivos de minimização de ruído podem afectar a percepção estética quer dos utilizadores das rodovias quer dos residentes nas proximidades do local onde são implantados. Efectivamente, a construção de barreiras acústicas com uma altura considerável, próximo de residências, para além de criar sombreamento, produz uma intrusão visual na paisagem. O grau desta intrusão é dependente da qualidade e tipo de paisagem em que a barreira esta implantada. No Anexo 9, apresenta-se um resumo de algumas entrevistas a moradores próximos de barreiras acústicas, localizadas na auto-estrada Lisboa-Porto, em que se salienta o problema de sombreamento e perda de vistas nas habitações, causado pela implantação destes dispositivos muito próximos das residências.

No entanto, a percepção das barreiras sonoras deve ser abordada do ponto de vista do condutor e do ponto de vista do residente. Para os condutores, o efeito visual da barreira depende da velocidade do veículo, da altura da barreira, da distância da barreira à rodovia, e da textura da superfície da barreira. Para veículos que se movam rapidamente, próximo da barreira, os condutores não se apercebem dos detalhes da barreira. Pelo contrário, se os veículos se movem mais lentamente, ou se a barreira esta mais distante, os detalhes são mais apercebidos e assim mais importantes. Se por acaso existem barreiras de ambos os lados da rodovia, estas podem provocar um efeito de túnel e desencadear desconforto em quem conduz.

Umas das primeiras equipas de investigação a estudar a influência das barreiras acústicas na percepção do ruído foi constituída por [Aylor e Marks, 1976]. No estudo experimental efectuado, os inquiridos foram instruídos para compararem a sensação sonora do ruído transmitido por barreiras com distintos graus de opacidade associados a cada dispositivo. Este estudo decorreu em condições de campo livre (o auditor foi colocado no centro de uma circunferência e foram utilizados altifalantes como fonte sonora). Foram atribuídos valores da sensação sonora menores nas situações em que a barreira obstruía parcialmente a fonte sonora, relativamente a quando não existia barreira, e valores maiores quando a barreira obstruía completamente a fonte sonora. Os resultados revelaram que a obstrução visual provocada pela barreira pode afectar de modo significativo a percepção do ruído, mas a direcção desta influência não está relacionada com o grau de obstrução da barreira de um modo simples. Desde que a fonte sonora seja visível, a redução da visibilidade da fonte é acompanhada pela redução da sensação auditiva. No entanto, se a fonte sonora ficar completamente obstruída pela

barreira, o efeito produzido é reverso. [Aylor e Marks, 1976] acreditaram que a efeito de uma barreira sólida pode modificar as expectativas relativas à eficácia da barreira.

[Watts *et al.*, 1999] estudaram os efeitos da vegetação na percepção do ruído de tráfego rodoviário, tendo para o efeito efectuado uma série de experiências quer em laboratório quer *in situ*, e utilizando diversos tipos de barreiras acústicas. Em laboratório, foi utilizado um altifalante que reproduzia o ruído de tráfego rodoviário, com diferentes níveis sonoros, e diferentes tipos de barreiras, designadamente barreiras vegetais com várias espessuras de vegetação, uma barreira metálica e uma zona sem barreira. Nas experiências *in situ*, os inquiridos foram conduzidos a diversos locais, a que correspondiam diferentes tipos de fluxo de tráfego e diversos tipos de barreiras vegetais, com diferentes densidades de vegetação. No referido estudo, constatou-se que, para o mesmo nível de exposição sonora e para situações em que o grau de sombreamento visual da fonte, conferido pela vegetação, variava, os indivíduos apresentavam, em média, maior sensibilidade ao ruído, quando menor o grau de visibilidade da fonte. Uma explicação possível para este facto consiste no efeito das falsas expectativas, pois quando a visão da fonte sonora está completamente obstruída pela barreira, pode-se esperar que a redução do ruído seja proporcional ao grau de obstrução, o que implicaria a expectativa de uma redução significativa do nível sonoro. Os resultados assim obtidos, também estão de acordo, com os obtidos posteriormente por [Viollon, 2000] e [Nilson e Berglund, 2006].

A influência da aparência visual das barreiras acústicas na avaliação auditiva foi avaliada num estudo conduzido por [Viollon, 2000], em que se constatou a existência de uma influência da aparência visual das barreiras acústicas na avaliação auditiva. Neste caso, verificou-se que quanto mais agradável a barreira acústica menos incomodativa era a percepção do ruído de tráfego rodoviário. A autora concluiu que não era só o aspecto da barreira, mas também a integração da barreira na paisagem envolvente, que se traduzia num benefício na percepção do ruído.

Outro aspecto importante está relacionado com as expectativas existentes nos indivíduos para a atenuação do ruído conferido pela barreira, o que pode provocar uma redução na percepção da atenuação conferida por este tipo de medida pelos residentes na sua proximidade, quando os indivíduos estão mal informados sobre os valores reais [Joynt, 2005].

O estudo conduzido por [Joynt e Kang, 2010] resultou num relacionamento inverso entre a agradabilidade estética e a percepção da atenuação ao ruído conferida por barreiras. Neste caso, as barreiras acústicas constituídas por painéis transparentes e as barreiras vegetais, embora avaliadas como mais agradáveis do ponto de vista estético, foram avaliadas como menos eficazes na atenuação ao ruído. Estes resultados indiciam a importância da compreensão e avaliação da existência de pré-concepções, relativamente aos materiais das barreiras acústicas, nas comunidades em que este tipo de minimização será implementado.

3.3.4 - Redução da velocidade de circulação dos veículos

Um exemplo de combinação de medidas de redução de velocidade e de gestão de ruído foi posto em prática na Áustria, na região de Styria, numa área residencial próxima de uma auto-estrada, com um volume de tráfego superior a 34 000 veículos por dia (dados de 1998) e com uma percentagem de 20% de veículos pesados no tráfego total durante a noite. Uma vez que os métodos convencionais para a minimização do ruído de tráfego, como, por exemplo, as barreiras acústicas, não eram suficientes, optou-se por uma solução de gestão dinâmica de tráfego, em modo interactivo, controlada pelos parâmetros ambientais [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]. O sistema implementado baseia-se no princípio de que a velocidade dos veículos tem uma importância significativa nos valores dos níveis sonoros estabelecidos. Neste caso, um sistema de medição de níveis sonoros regista e processa os dados de emissão sonora, encontrando-se associado um sistema de gestão dos dados de tráfego. Estes dois sistemas permitem a identificação dos níveis sonoros devidos ao ruído de tráfego rodoviário e, quando excedem os limites legais, a activação de um sistema telemático. Em consequência desta activação, é implementada uma redução do limite de velocidade, adaptada à situação em causa. As opções para a redução de velocidade que podem ser adoptadas, de acordo com a situação acústica existente no ponto de medição, são apresentadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Opções de redução de velocidade implementados, adaptado de [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]

Esquema	Limite de velocidade, veículos ligeiros [km/h]	Limite de velocidade, veículos pesados [km/h]
1	100	80
2	100	60
3	80	60

Com o recurso a este sistema interactivo, consegue-se atingir reduções nos níveis sonoros, em relação com a situação inicial (limite de velocidade de 130 km/h para veículos pesados e ligeiros), até 6 dB, para os casos das reduções de velocidade mais elevadas. Paralelamente a este sistema, foram colocados na auto-estrada painéis informativos, que justificam a redução de velocidade imposta. Durante o funcionamento deste sistema, foram efectuadas medições de velocidade, que mostraram a aceitação de uma redução do limite de velocidade de circulação para 80 km/h pela maior parte dos condutores de veículos pesados, enquanto que, para o valor de 60 km/h, a redução somente foi aceite por cerca de 10% dos condutores. No que respeita a veículos ligeiros, cerca de 50% dos condutores aderiu à redução do limite de velocidade.

3.3.5 Isolamento sonoro de fachadas

A propagação do ruído ambiente exterior para o interior de um edifício pode ocorrer pelos diversos elementos que constituem o edifício, como sejam os elementos opacos da envolvente vertical, os vãos envidraçados, as portas, as coberturas, e as aberturas de ventilação. Na redução do ruído transmitido para o interior, o comportamento da envolvente de um edifício depende essencialmente do valor da massa superficial da envolvente, da sua continuidade e do acréscimo de isolamento que possa ser proporcionado por algumas configurações especiais [Silva, 1975].

A legislação portuguesa, designadamente o Regulamento Geral do Ruído [Portugal. Leis, Decretos-Lei, 2000] só preconiza este tipo de medida de minimização, quando comprovadamente esgotadas as medidas de minimização que actuam ao nível da fonte sonora (pavimentos com características optimizadas de absorção sonora) e ao nível da propagação sonora (barreiras acústicas), e desde que o ruído ambiente exterior não exceda em mais de 5 dB(A) os valores limite fixados. Nestas situações, para os edifícios habitacionais e mistos, para as escolas, e para os hospitais, deve-se adoptar valores para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,w}$, valores superiores em 3 dB aos valores constantes no Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios [Portugal. Leis, Decretos-Lei, 2008], designadamente, $D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB (em zonas mistas) e $D_{2m,nT,w} \geq 28$ dB (em zonas sensíveis).

De modo simplificado pode-se considerar que o isolamento sonoro de um elemento de construção varia proporcionalmente ao logaritmo da sua massa superficial, e no caso de se tratar de um elemento de duas folhas, ele só funciona do ponto de vista acústico, como elemento duplo, desde que a separação entre as folhas seja adequada e as ligações entre elas pouco rígidas [Patrício, 2008]. Quando estas condições são cumpridas, consegue-se obter isolamentos sonoros mais elevados do que os valores previsíveis em função da massa superficial dos elementos constituintes do sistema duplo (Silva, 1975). No caso de um elemento de construção heterogéneo, constituído por dois tipos de material diferentes, cujos isolamentos sonoros são conhecidos, R_{wi} , (tendo-se neste caso $i = 2$), como por exemplo uma parede de fachada com vãos envidraçados, é possível a partir da Eq. (3.16) estimar o isolamento sonoro global, como:

$$R_w = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_i S_i}{\sum S_i 10^{(-R_{wi}/10)}} \right] \quad (3.16)$$

em que R_w representa o índice de isolamento sonoro da parede composta, R_{wi} o índice de isolamento sonoro da parede i , e S_i a área do elemento i .

Na maior parte dos casos, os vãos envidraçados são considerados os “elementos mais fracos”, pelo que, muitas vezes se adopta como medida de minimização do ruído tráfego rodoviário o reforço do isolamento sonoro destes vãos e das aberturas de ventilação. O desempenho acústico de vãos envidraçados vai depender da qualidade dos elementos de suporte e fixação dos vidros, bem como das características de isolamento sonoro dos panos envidraçados. As frinchas que não possuem movimentos relativos entre si devem ser preenchidas com material absorvente sonoro e seladas, em ambas as faces, com material resiliente vedante. O isolamento sonoro de um pano de vidro depende da sua espessura e do ângulo de incidência das ondas sonoras (diminuindo com o aumento do ângulo de incidência). O título ilustrativo, apresenta-se na Figura 3.7 a variação do índice de isolamento sonoro, R_w , em função da espessura de um pano envidraçado, para um vidro simples e para um vidro laminado.

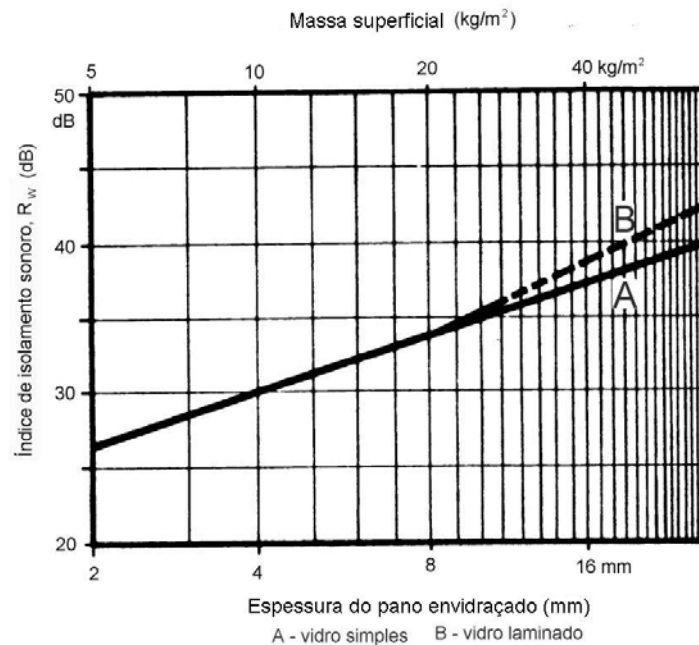


Figura 3.7 – Índice de isolamento sonoro em função da espessura de um pano envidraçado, para incidência difusa e para ângulos de incidência de 45° [adaptada de Myncl et al., 1981]

Na prática, verifica-se um acréscimo de 3 dB no índice de isolamento sonoro de um vidro com a duplicação da sua espessura. Tendo em atenção que não se pode aumentar infinitamente a espessura de um vidro, quando os requisitos de isolamento sonoro são elevados, opta-se muitas vezes pela utilização de sistemas de vidro duplo ou de janelas duplas. A utilização de camadas múltiplas de vidro (duplo ou triplo) aumenta também o isolamento sonoro na maior parte das frequências, mas esta característica é dependente da separação entre as diferentes camadas. Em relação a este aspecto convém referir que o vidro duplo usualmente utilizado para efeitos de isolamento térmico pode não ser eficaz do ponto de vista acústico. Este facto deve-se sobretudo ao pequeno espaçamento entre panos (usualmente com um valor igual ou inferior a 16 mm) e à igual espessura dos panos que constituem o vidro duplo. Preferencialmente deve ser utilizada uma caixa-de-ar com uma espessura de 200 mm. A utilização em vidros duplos ou triplos com panos com diferentes espessuras permite uma melhoria adicional do isolamento sonoro.

A Figura 3.8 apresenta, a título ilustrativo, a variação do índice de isolamento sonoro para vidros duplos, em função da espessura total do envidraçado e do espaçamento entre panos.

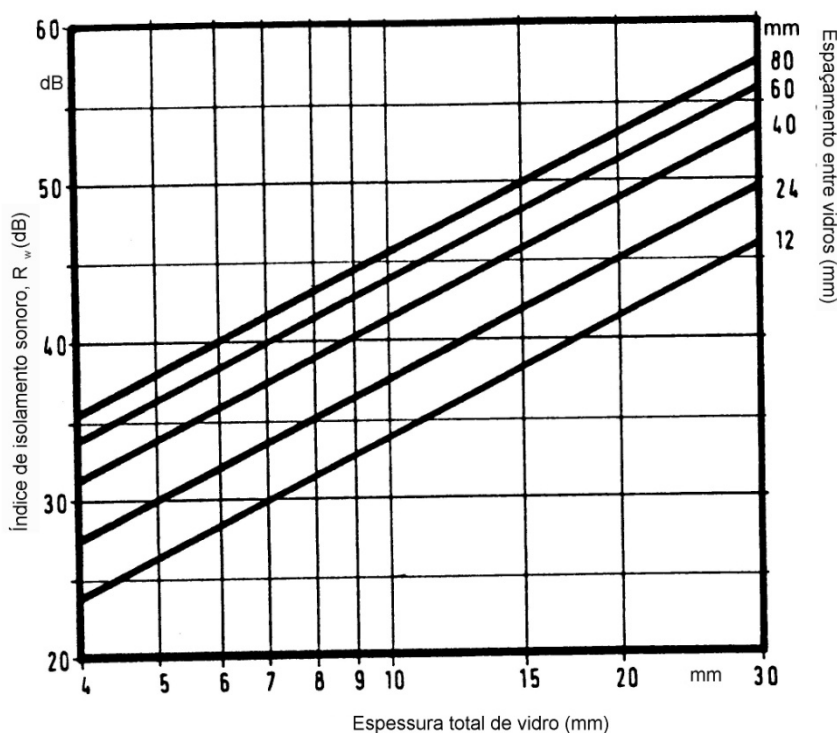


Figura 3.8 – Índice de isolamento sonoro de vidros duplos, em função da espessura total do envidraçado e do espaçamento entre vidros [adaptado de Mynckle *et al*, 1981]

Nas situações em que é necessário um isolamento sonoro elevado, a utilização de caixilhos leves deve ser evitada, preconizando-se caixilhos separados para cada pano, suportados por paredes estruturalmente independentes, de forma a eliminar a transmissão sonora através do caixilho.

Em relação à utilização de estores de correr é de todo conveniente tomar medidas que aumentem o isolamento das caixas respectivas (por exemplo, aumentando a massa dos elementos constituintes) e aplicar revestimentos absorventes sonoros no seu interior.

Deve-se ter igualmente em atenção que um bom isolamento sonoro de uma janela implica normalmente uma baixa permeabilidade ao ar, pelo que a instalação de dispositivos de ventilação (natural ou forçada) deverá sempre contemplar o tratamento acústico dos mesmos.

3.3.6 Efeitos de combinação de diferentes medidas de minimização

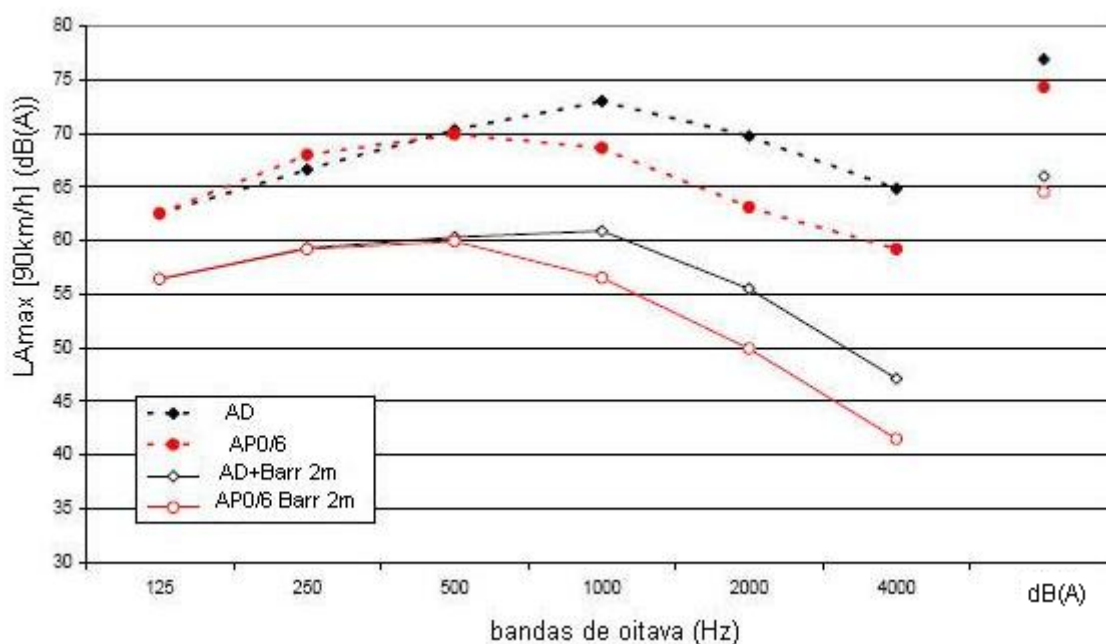
Em princípio, poder-se-ia pensar que o uso simultâneo de barreiras acústicas e pavimentos “pouco ruidosos” se pode traduzir numa solução óptima para a minimização de ruído [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]. De facto, os pavimentos com características “pouco ruidosas” actuam na minimização do ruído a nível da fonte sonora, enquanto que as barreiras acústicas possibilitam a redução no meio de propagação. A conjugação destes dois tipos de medidas permitirá a redução de ruído em zonas onde as barreiras acústicas são ineficazes, como por exemplo, as zonas localizadas fora da região de “sombra” da barreira, ou no lado oposto da via onde está localizada a barreira acústica. No entanto, na generalidade dos casos, devido à dependência em frequência dos fenómenos de propagação, difracção e absorção sonoras, a eficiência global da combinação destes dois tipos de medidas é inferior à adição de cada uma das eficiências individuais. Este facto é confirmado por previsões teóricas, assim como por medições efectuadas *in situ* [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]. Em consequência deste resultado, nas situações em que são combinados estes dois tipos de medidas de minimização de ruído, deve-se prestar muita atenção à eficiência espectral associada a cada uma, de modo a que o resultado da combinação seja optimizado.

No que respeita à combinação da utilização de pavimentos com características “pouco ruidosas” e de soluções de reforço do isolamento sonoro de fachadas, devido à variação do isolamento sonoro com a frequência, espera-se que o benefício do pavimento seja inferior no interior das habitações [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]. Foram realizados estudos experimentais em França [Peyrard, 2001], numa localidade onde ocorreu a substituição do pavimento betuminoso denso (AD) por pavimento de betão betuminoso drenante (AP), numa estrada com duas vias, onde se encontra localizada num dos lados uma barreira acústica com 2 m de altura. Neste estudo, foram realizadas medições dos níveis sonoros, em dB(A) e por bandas de terços de oitava, utilizando o método da passagem estatística de veículos (SPB), com o ponto de medição localizado por detrás da barreira a uma distância de 7,5 m e a uma altura de 1,2 m. A densidade de tráfego era de 2000 veículos por hora, sendo 20% deste volume de tráfego constituído por veículos pesados. Na Tabela 3.4 apresentam-se os níveis máximos de pressão sonora, ponderados A, L_{Amax} (90 km/h) para cada uma das situações analisadas.

Tabela 3.6 – Resultados obtidos nas experiências de Peyrard, adaptado de [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]

Caso	Situação	L_{Amax} dB(A)	Diferença em relação ao Caso A
A	Betão denso	76,9	0
B	Betão betuminoso drenante	74,3	-2,6
C	Betão denso + Barreira 2m	66,0	-10,9
B	Betão betuminoso drenante + Barreira 2m	64,5	-12,4

A análise dos resultados da Tabela 3.6 permite constatar que o benefício da utilização do pavimento drenante, sem a presença da barreira, é da ordem dos 3 dB(A), enquanto que a perda por inserção da barreira com o pavimento de betão denso é de 11 dB(A) e de cerca de 12,4 dB(A) para o pavimento drenante. O benefício máximo resultante da combinação das duas medidas de minimização é de 12,4 dB(A), inferior ao valor correspondente à adição do benefício de cada medida: $10,9 + 2,6 = 13,5$ dB(A). Pela análise dos resultados obtidos por bandas de oitava (*vd.* Figura 3.9), verifica-se que o pavimento drenante não tem qualquer efeito significativo abaixo da banda de oitava dos 1000 Hz. No entanto, Peyrard indica que a combinação destes dois tipos de medidas de minimização de ruído pode ser interessante, uma vez que a utilização de pavimentos com características “pouco ruidosas” permite a redução da altura ou do comprimento da barreira acústica, para um mesmo desempenho e, conseqüentemente diminuição dos custos de construção das barreiras [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005].

Figura 3.9– Resultados das medições da passagem estatística de veículos, obtidos por Peyrard, com e sem a barreira [adaptado de Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]

Embora, à partida, se possa supor que, no interior de uma habitação, a combinação de um pavimento “pouco ruidoso” com o reforço do isolamento sonoro do local receptor consista numa solução otimizada para a redução do ruído de tráfego rodoviário, devido à dependência (em função da frequência) do isolamento sonoro dos elementos construtivos e das características do espectro do ruído de tráfego rodoviário, o efeito da combinação destas duas medidas é geralmente inferior ao esperado pela adição dos benefícios individuais [Vermeir *et al.*, 2004].

3.4 Efeitos do ruído

3.4.1 Introdução

O ruído é cada vez mais um sério problema de saúde. A Organização Mundial de Saúde (OMS) reconhece que o ruído a que estão sujeitas as populações constitui um problema sério no domínio de saúde pública. No contexto europeu, pode-se dizer que metade dos cidadãos vivem em zonas ruidosas, e um terço vive em zonas em que os níveis sonoros durante a noite são suficientes para provocar distúrbios durante o sono [Berglung *et al.*, 2000].

A organização mundial de saúde [Berglung *et al.*, 2000] recomenda que em áreas residenciais o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, no exterior, não ultrapasse os 55 dB(A). Adicionalmente, estipula que níveis sonoros até 50 dB(A) podem causar perturbação, mas que o organismo se adapta facilmente a estes valores. A partir de 55 dB(A) pode haver a ocorrência de *stress*, acompanhado de desconforto. O nível sonoro equivalente de 65 dB(A) é considerado o limiar de conforto para a medicina preventiva. A exposição contínua a valores acima desse limite pode causar distúrbios psicofisiológicos diversos, independentemente da idade, tais como perturbações no sono, diminuição do desempenho do trabalho, hipertensão. No que respeita aos níveis sonoros durante a noite, a OMS recomenda valores máximos de níveis sonoros de 45 dB(A). Para além disso, os níveis de pressão sonora máxima, ponderada A, L_{Amax} , dentro das habitações não devem exceder valores de 45 dB(A), mais do que 10 a 15 vezes por noite.

A incomodidade sonora é um dos efeitos do ruído mais generalizado, razão pela qual é tratada separadamente na secção 3.4.3. Enquanto que as primeiras regras sobre a redução sonora eram de natureza qualitativa, na legislação moderna são fixados limites quantitativos em decibel. Nas últimas décadas, o estudo estava centrado no relacionamento entre os níveis sonoros e a respectiva resposta média subjectiva de uma população ao ruído.

3.4.2 Caracterização dos principais efeitos adversos do ruído

A organização mundial de saúde [Berglung *et al.*, 2000] define os efeitos adversos do ruído como uma alteração da morfologia e fisiologia de um organismo que resulta num enfraquecimento de uma capacidade funcional ou num enfraquecimento da capacidade de compensar o *stress* adicional ou o aumento da susceptibilidade do organismo relativamente aos efeitos nocivos de outras influências ambientais. O ruído pode produzir determinados efeitos sociais e comportamentais, tais como a perturbação e interferência com as actividades desempenhadas pelos indivíduos incluindo a concentração, comunicação, repouso e sono [OMS, 2000], o que por sua vez afecta a qualidade de vida. Por exemplo, a perturbação associada com a compreensão da fala, que resulta essencialmente do fenómeno de mascaramento da voz pelo ruído, pode provocar um elevado número de incapacidades pessoais e mudanças de comportamento, o aparecimento de problemas de fadiga, falta de confiança própria e irritação. Embora a exposição dos trabalhadores ao ruído, seja um dos principais problemas que conduz à perda de audição, manifestada pela subida do limiar de audição, hoje em dia, nos países desenvolvidos, o ruído ambiental também já é considerado como um factor de risco relativamente a este efeito adverso.

A perturbação do sono induzida pelo ruído é claramente prejudicial para o bem estar e as perturbações de longa duração podem prejudicar o estado físico e mental de um individuo. O cansaço também reduz a concentração, diminuindo a produtividade e o desempenho no trabalho, e aumentando o risco de ocorrência de acidentes.

Para além dos efeitos psicofisiológicos numa população, existe a preocupação sobre o seu impacto na saúde pública, particularmente no que diz respeito às doenças cardiovasculares. Desde há alguns anos que os efeitos não auditivos do ruído na saúde

humana têm sido estudados por métodos laboratoriais e empíricos. Um estudo da Agência do Ambiente Alemã [Babisch, 2006] estabeleceu uma relação casual entre o ruído de tráfego rodoviário e as doenças cardíacas, verificando-se que a exposição crónica prolongada ao ruído, especialmente de tráfego aéreo e rodoviário, pode resultar em modificações permanentes funcionais e metabólicas devido ao *stress* imposto e à elevação dos níveis hormonais. Estes factos estão por sua vez relacionados com um elevado risco de doenças cardiovasculares, incluindo a subida da pressão arterial e ataques cardíacos. No referido estudo foram observados um aumento dos ataques cardíacos em indivíduos expostos a ruído de tráfego rodoviário com níveis sonoros superiores a 60 dB(A), estimando-se da ordem de 4000 casos de doenças cardiovasculares por ano na população alemã (dados relativos ao ano de 1999), decorrentes na exposição ao ruído.

Foram realizados diversos estudos relacionados com o ruído crónico e agudo, que demonstraram impactos adversos da exposição ao ruído de tráfego aéreo. Estes impactos foram evidentes na memória de longo prazo, em situações de desempenho de tarefas difíceis e complexas. [Enmarker *et al.*, 1998] num estudo sobre os efeitos do ruído na memória verificaram que apenas a memória a longo prazo foi afectada pelo ruído de tráfego rodoviário. Em 1973, resultados dos trabalhos de [Cohen *et al.*, 1973] mostraram que as crianças mais expostas ao ruído não só demonstraram mais falhas evidentes na capacidade de leitura como também alterações na capacidade auditiva. Recentemente, num estudo da comunidade europeia (projecto RANCH) sobre a exposição sonora de crianças ao ruído de tráfego rodoviário e aéreo, verificou-se que as crianças expostas a níveis sonoros acima dos 55 dB(A) obtinham classificações mais baixas em testes de leitura, observando-se também deficiências a nível do desenvolvimento da fala e das capacidades de leitura [Clark *et al.*, 2006]. A investigação sobre o ruído assumiu o conceito de stress como um dos seus efeitos e definiu as propriedades perturbadoras do ambiente como variáveis que podem actuar como potenciadores.

De facto, o ruído para além dos problemas físicos que incluem a perda de audição, o aumento da pressão arterial e a doença do coração, os efeitos psicofisiológicos da incomodidade e privação do sono, tem também consequências extremamente sérias. Na Figura 3.10, apresenta-se uma figura esquemática sobre os principais efeitos do ruído.

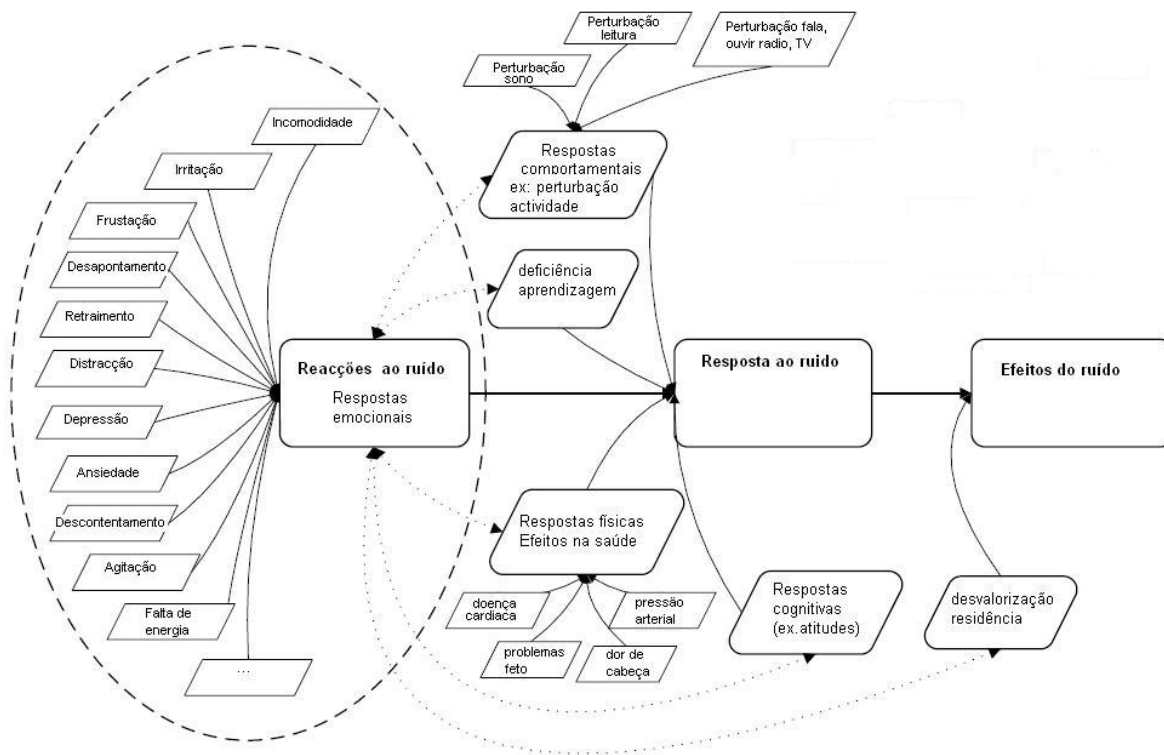


Figura 3.10 – Efeitos do ruído, adaptado de [Pedersen, 2006]

3.4.3 Incomodidade

Não existe uma definição consensual de incomodidade, variando o seu significado entre os vários especialistas. Usualmente, a incomodidade é vista como uma apreciação negativa das condições ambientais, mas a sua conotação é muito ampla e diversa [Guski *et al.*, 1998]. Este conceito está associado à perturbação, agravamento, desagrado, irritação e desconforto, etc. Lindvall e Radford definiram a incomodidade como um sentimento de desagrado associado com qualquer agente ou condição que se acredita que influencie adversamente um indivíduo ou um grupo. [Lindvall e Radford, 1973] salientam o facto de as condições de contexto influenciarem a incomodidade. No projecto de investigação dinamarquês GENLYD [Pedersen, 2006] a incomodidade é definida com uma reacção emocional e comportamental de um indivíduo exposto num dado contexto. Esta definição sugere que outros factores (designados por “modificadores”) podem ser significativos, para além dos níveis sonoros.

A avaliação da incomodidade provocada pelo ruído numa população pode ser efectuada a partir de questionários ou então pela avaliação do grau de perturbação na realização de

actividades específicas [Berglung *et al.*, 2000]. Em 1993, a Comissão Internacional dos efeitos biológicos do ruído desenvolveu um programa de modo a estabelecer-se um acordo internacional sobre a escolha do tipo de questões a utilizar em inquéritos com o objectivo de possibilitar a comparação internacional das reacções ao ruído expressas por inquéritos sociais [Vallet, 1993]. Na sequência deste trabalho foi publicada, pela ISO uma especificação técnica [ISO TS 15666, 2003].

Na década de setenta do séc. XX, [Schultz, 1978] analisou uma vasta gama de inquéritos sócio-acústicos no âmbito do ruído provocado pelos meios de transporte (rodoviário, ferroviário e aéreo). Os resultados obtidos entre os vários inquéritos sugeriram a existência de uma relação entre o número de indivíduos que se consideravam muito incomodados e o nível de pressão sonora, ponderado A (neste caso, o L_{dn} , que implica uma penalização de 10 dB no período nocturno), tendo sido proposta como uma estimativa para a previsão da resposta média em termos de incomodidade sentida por uma população e publicada com a designação de relações exposição-efeito. Com o passar dos anos, vários autores foram adicionando os resultados de mais inquéritos, assim como propondo metodologias para a realização das meta-análises, tendo sido compilada por [Miedema *et al.*, 2001] uma base de dados sobre este assunto e integradas as categorias relativas ao número de indivíduos incomodados e pouco incomodados. Embora estas relações exposição-efeito sejam das mais completas até à data, os diversos estudos mostram uma grande variação nas reacções individuais relativas à incomodidade ao ruído, para os mesmos níveis sonoros, pelo que as curvas exposição-efeito podem ser utilizadas nas previsões da incomodidade sentida por um indivíduo ou grupo de indivíduos com uma incerteza associada muito grande [Miedema *et al.*, 2001].

As curvas de exposição-efeito são utilizadas a nível de controlo no âmbito da política ambiental, em que a importância reside na relação entre a resposta global de uma população e a correspondente exposição sonora. De facto, o grupo de trabalho da Comissão Europeia para a avaliação dos efeitos do ruído [EC, 2002] recomenda que a percentagem de pessoas incomodadas (A%) e a percentagem de pessoas muito incomodadas (HA%) sejam os descritores utilizados na avaliação dos efeitos do ruído nas populações em termos de incomodidade. Os valores que constam nas Figuras 3.11 a 3.13 foram obtidos a partir de aproximações polinomiais de terceiro grau das curvas estabelecidas por Miedema [Miedema, 2007] e aplicam-se à caracterização da

incomodidade para o ruído do tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, devido a correspondente exposição de longa duração, de uma população ao ruído. Estas relações são válidas para valores do indicador de ruído dia-entardecer-noite compreendido entre $45 \leq L_{den} \leq 75$ dB(A). Abaixo de 42 dB(A) a percentagem de indivíduos muito incomodados é residual.

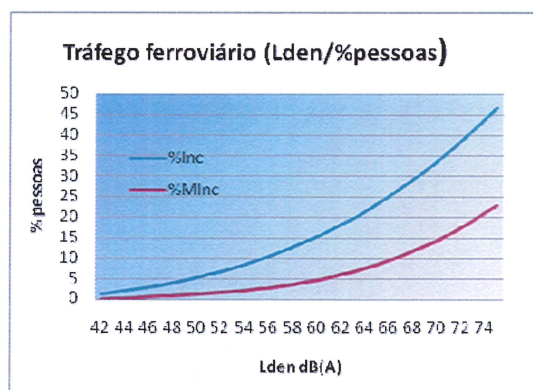


Figura 3.11 – Relações exposição – efeito para o tráfego ferroviário

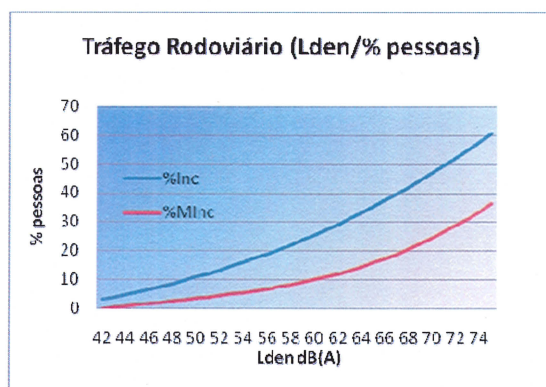


Figura 3.12 – Relações exposição – efeito para o tráfego rodoviário

A utilização destas curvas, conjuntamente com os dados constantes nos mapas estratégicos de ruído, permite a conversão dos resultados obtidos nos mapas em termos do número de pessoas incomodadas. No entanto, é necessário ter em conta que, para além do nível sonoro estabelecido na fachada mais exposta, existe um número de factores de natureza acústica e não acústica que influenciam a reacção ao ruído. O isolamento sonoro da fachada e a existência de uma fachada virada para um local sossegado, bem como, em menor grau, o ruído ambiente na vizinhança do edifício, são factores que influenciam a reacção de incomodidade provocada pelo ruído.

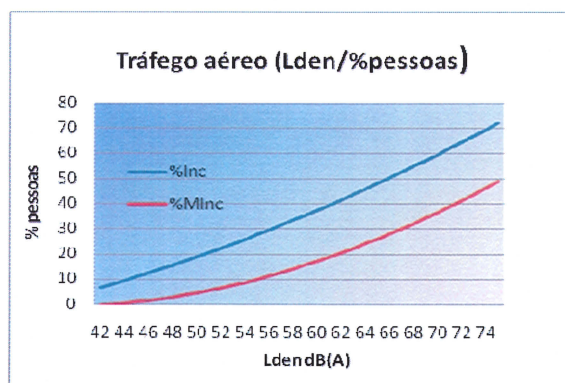


Figura 3.13 – Relações exposição – efeito para o tráfego aéreo

As curvas apresentadas nas Figuras 3.11 a 3.13 referem-se à reacção de incomodidade baseada em situações “médias” para cada um dos três factores referidos [Miedema, 2007]. No que respeita a factores não-acústicos, há que apontar o medo relativamente a um determinado meio de transporte. De facto, indivíduos que apresentam algum tipo de receio relacionado com um determinado modo de transporte, indicam um grau de incomodidade mais elevado, em relação a indivíduos que não são afectados por esse sentimento. Outro factor de natureza não acústica é a sensibilidade ao ruído e a idade, verificando-se que, para o mesmo nível de exposição sonora, indivíduos relativamente jovens e idosos tem uma reacção de incomodidade menor que indivíduos entre estas duas faixas etárias. Existe um grau de incomodidade maior se o nível de educação é mais elevado, se a residência é do próprio em vez de alugada, se a pessoa não depende da fonte sonora e se o uso pelo próprio do meio de transporte que está na origem da incomodidade é baixo.

Estas relações exposição-efeito confirmam, em particular, que a reacção de incomodidade relativa ao tráfego ferroviário é menor do que a correspondente aos outros dois modos de transporte. De facto, para igual nível de energia, o ruído o tráfego ferroviário é menos incomodativo que o ruído de tráfego rodoviário, efeito este que é designado por “bónus ferroviário” [Fastl *et al.*, 1996].

Investigadores da universidade de Ghent desenvolveram um modelo para a incomodidade sonora unificado para os diversos tipos de fonte sonoras [Muer *et al.*, 2005]. Este modelo tenta prever a reacção de um pequeno grupo a partir da simulação de um grande número de pessoas que pertencem a esse grupo. A hipótese de base deste

modelo consiste em assumir que a incomodidade tem de ser detectada antes de se tornar incomodativa, incluindo-se, como modificadores da reacção do estímulo, por exemplo a sensibilidade ao ruído e características estáveis de personalidade. Na Figura 3.14 apresenta-se um esquema do fluxo dos acontecimentos e os modificadores do impacto que um estímulo sonoro pode ter, para o modelo de incomodidade. A ocorrência de um evento assinalável activa as outras componentes dentro do modelo e actua como estímulo primário para os diferentes sistemas que constituem a modelação da incomodidade.

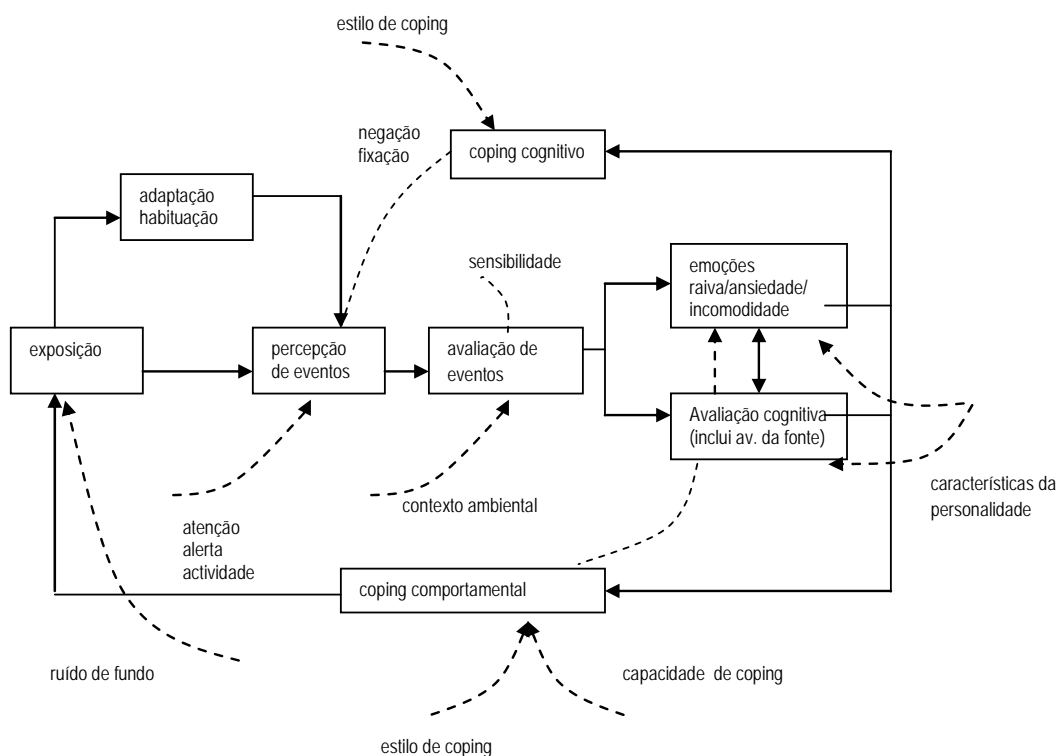


Figura 3.14 – Esquema do modelo geral do impacto do ruído (figura adaptada de Muer *et al*, 2005)

A exposição sonora engloba uma mistura de sons, podendo uma parte ser entendida como ruído de fundo, podendo não ser continuamente apercebida. A ocorrência de um evento assinalável depende de várias condições, tais como a emergência do som relativamente ao ruído de fundo, o grau de alerta ou de atenção do auditor, a actividade que o indivíduo está a desenvolver (podendo esta actividade produzir ruído de mascaramento ou, pelo contrário, ser perturbada pelo som intenso), a sensibilidade do indivíduo ao ruído e o grau de habituação, que pode suceder relativamente ao estímulo. De facto, devido à habituação, a resposta à exposição sonora pode modificar-se ao longo

do tempo. Neste modelo, a habituação de longa duração é modelada a partir do mecanismo de *coping* (o mecanismo de *coping* refere-se ao modo como lidamos com a incomodidade sentida, por exemplo o fechar das janelas (*coping* activo), ou a existência de um sentimento de que nada há a fazer (*coping* emocional). Por não existir na língua portuguesa uma palavra única que expresse a complexidade do termo *coping*, optou-se por não traduzir esta palavra, que pode significar “lidar com”, “adaptar-se”, “enfrentar” (ver Glossário). A habituação de curta duração ou adaptação é incluída no caminho directo entre a exposição ao ruído e o assinalar do evento. O grau de apreço (ou de desagrado) do indivíduo modelado relativamente ao evento detectado tem como base certas características acústicas, como, por exemplo, a *sensação de intensidade auditiva*, *tonalidade*, e *impulsividade*. No entanto, há ainda que considerar os aspectos cognitivos como, por exemplo, o conhecimento da fonte e os aspectos emocionais. Por último, neste modelo, se as características da pessoa modelada são conhecidas, estas podem ser incluídas e a previsão do modelo torna-se mais exacta. Caso as características pessoais não sejam conhecidas, far-se-á uma amostragem da sensibilidade ao ruído, recorrendo à uma distribuição para a distribuição das respostas.

Mais recentemente, no projecto dinamarquês *Genlyd* [Pedersen, 2006], a incomodidade é quantificada tendo como base de partida a utilização dos modelos exposição-efeito, utilizando as curvas de [Miedema, 2007] para os ruídos de tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, e as relações entre a exposição (em termos de valor L_{den}) e a reacção (incomodidade) para o ruído industrial e o ruído emitido pelo funcionamento de aerogeradores. Os valores obtidos estão sujeitos à acção de modificadores, determinados pelo contexto, e variáveis pessoais e acústicas. Na Figura 3.15 apresenta-se um esquema das relações existentes entre os vários elementos intervenientes do modelo. A ideia geral é considerar como ponto de partida o som apercibido, para que este som possa ser aproximado por medição ou cálculo, junto do receptor. A propagação sonora só será tida em conta se tiver efeito sobre a reacção de incomodidade (por exemplo, o isolamento sonoro pode ser incluído na propagação sonora). O ruído emitido por uma fonte pode ter características acústicas específicas que modificam a reacção dos indivíduos, como, por exemplo, a presença de componentes tonais e impulsivas. Por exemplo, a norma [ISO 1996-2, 2007] descreve um método para a determinação de um ajuste ao nível sonoro contínuo equivalente, devido à audibilidade de componentes tonais. Igualmente importante para o acréscimo da incomodidade é a existência de sons com carácter impulsivo, relativamente ao mesmo tipo de sons, mas com carácter

estacionário. No entanto, as características do ruído emitido pela fonte podem ser alteradas no percurso de propagação até ao receptor, como podem também ser mascaradas por outros sons, que modificam a audibilidade das características do ruído emitido pela fonte (por exemplo, no caso dos aerogeradores, o ruído gerado pelo vento nas folhas das árvores pode efectuar esse mascaramento).

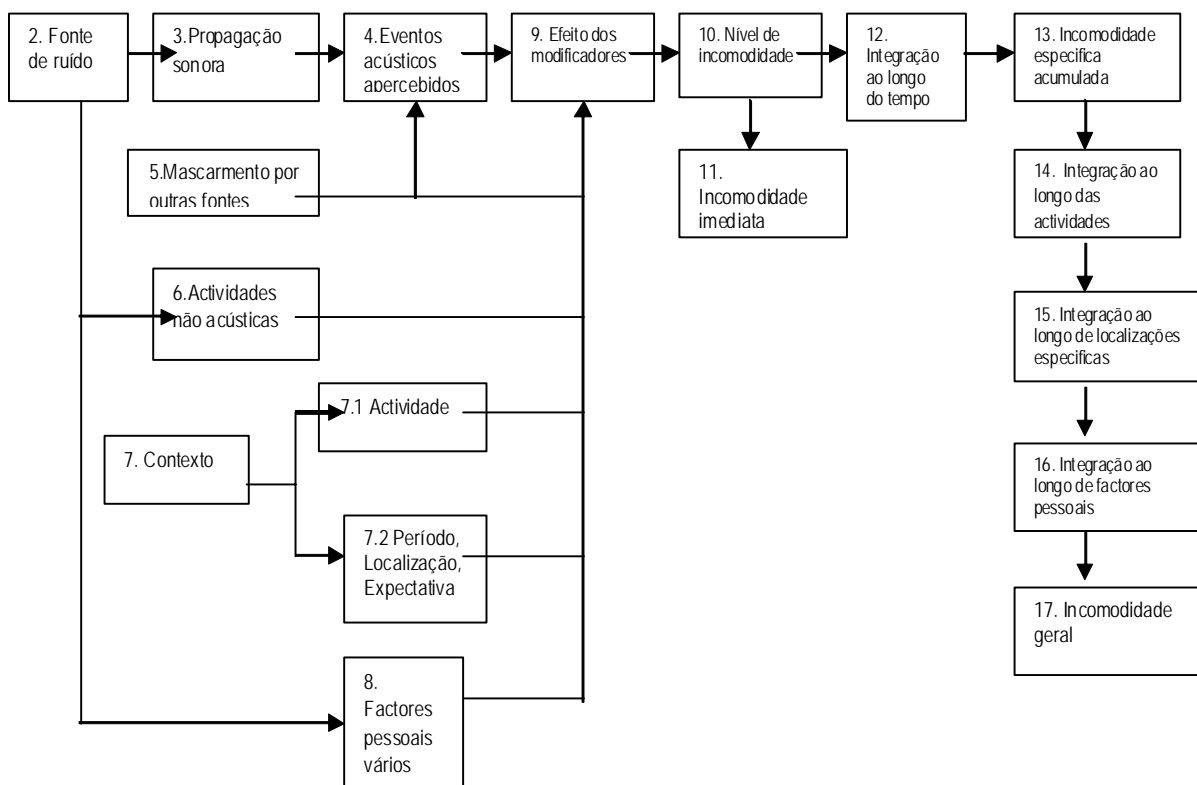


Figura 3.15 – Representação esquemática das relações entre os elementos no modelo de incomodidade "Genlyd"

No que respeita aos atributos de natureza não acústica, há que ter em conta os efeitos directamente relacionados com a fonte, como, por exemplo, o odor, a poluição atmosférica e o pó, vibrações associadas, o impacto visual da fonte (mudanças de vistas, perturbação da paisagem ou sombreamento), e os efeitos indirectos, como, por exemplo, o aumento de tráfego, e os efeitos relacionados com a atenuação sonora, tais como a presença de barreiras acústicas (que pode ou não ter um impacto positivo) e a existência de isolamento sonoro na fachada dos edifícios). Refira-se, no entanto, que a presente versão do modelo de incomodidade *Genlyd* ainda não contabiliza estes últimos factores.

No que respeita ao contexto, este factor engloba todas as circunstâncias e condições significativas para a reacção de incomodidade, que incluem a actividade desenvolvida pelo indivíduo durante a ocorrência do estímulo, o período durante o qual este ocorre (por exemplo, eventos sonoros durante os períodos do entardecer e nocturno estão associados, regra geral, a uma reacção de incómodo mais significativa, pelo que este factor é incluído no próprio indicador de ruído L_{den}) e o local onde os indivíduos se encontram durante a ocorrência do estímulo. Relativamente a este último factor, o modelo considera três grandes grupos: em casa, tendo-se em consideração a existência de uma fachada virada para uma zona sossegada e os níveis sonoros na envolvente, no trabalho, onde somente se entra em consideração com o ruído de fundo global, e em áreas de lazer, distinguindo-se entre os parques citadinos ou grandes áreas de reservas naturais.

Ainda no factor contexto, é também considerada a expectativa que os indivíduos possuem relativamente à qualidade acústica de uma determinada área (por exemplo, os residentes que esperavam viver numa zona rural sossegada podem sentir-se mais incomodados que os trabalhadores agrícolas dessa zona). Relativamente às características de grupos específicos de pessoas que podem causar desvios relativamente à média, para um determinado contexto, ou seja, as características pessoais, há que ter em conta os factores apercebidos, como, por exemplo, o sentimento subjectivo do medo (no caso dos meios de transporte, por exemplo, o medo de um acidente aéreo nas redondezas).

Outros factores englobados nas características pessoais são a sensibilidade ao ruído, a dependência da fonte sonora (por exemplo, pessoas que são dependentes economicamente de actividades de transporte que provocam o ruído aparentam ser ligeiramente menos incomodadas pelo ruído provocado por essa mesma fonte), a educação, a atitude que o indivíduo tem relativamente à fonte de ruído, o número de pessoas que coabitam numa residência e situações especificamente pessoais, tais como o grau de *stress*, a satisfação com o estilo de vida e a capacidade de actuação perante a existência do ruído (actividade de *coping*).

Neste modelo, são ainda definidos três tipos de incomodidade: a incomodidade global, relacionada com a incomodidade de longa duração, a incomodidade na vizinhança da

residência dos indivíduos e a incomodidade específica, caso exista uma situação específica particular, grupo de indivíduos ou contexto.

No que respeita ao período de tempo, existe a diferenciação entre a incomodidade acumulada (por exemplo, o trabalhar próximo de uma impressora ruidosa) e a imediata (por exemplo, a passagem de um avião quando se está ao telefone). Finalmente, refira-se que o objectivo deste modelo é a avaliação da incomodidade devido a cada tipo de fonte, não incluindo o efeito de combinação de fontes.

3.5 Caracterização da paisagem sonora

3.5.1 -Introdução

Um aspecto importante para o estabelecimento do quadro teórico da estética do som é a compreensão da diferença entre os espaços auditivo e visual. Embora quer o som quer a luz sejam fenómenos ondulatórios, a percepção sonora difere em muitos aspectos da percepção visual. O espaço sonoro não tem fronteiras óbvias, não é localizável e tende a enfatizar o próprio espaço e não os objectos que lhe estão inseridos. A percepção visual assenta no espaço, na distância, na qualidade da luz, na cor, na forma e nos gradientes de contraste. Comparando os sons com os objectos visualizados, os primeiros são mais transitórios, mais fluidos e menos capturáveis [Carles *et al.*, 1999]. Os sons fornecem dinamismo e um sentido de realidade, ajudando-nos a estabelecer um sentido de progressão no tempo. Comparada com a visão a percepção sonora é usualmente desprovida de informação mas rica em emoção. As pessoas são normalmente comovidas por um excerto musical.

Em 1977, Schafer introduziu o termo “paisagem sonora”. A sua abordagem traduzia uma preocupação acerca da dominância da cultura visual e a perda da “competência auditiva” existente nas sociedades modernas. No seu livro clássico *The tuning of the world*, [Schafer, 1977] classificou os sons em três categorias, os sons chave (*keynote sounds*), os sinais/sons de primeiro plano e as “marcas sonoras” (*soundmarks*). Os sons chave, ou ruído de fundo, correspondem aos sons que estão presentes de modo continuado num local, constituindo um marco de referência para aferição do contexto, no qual se enquadra o local. Os sons de primeiro plano, também designados por “indicadores

sonoros”, têm como objectivo principal chamar a atenção, sobressaindo do ruído de fundo. Finalmente os sons que são considerados típicos de uma determinada comunidade e dos seus visitantes são designados por marcas sonoras.

No que respeita à paisagem sonora urbana, [Schafer, 1977] considera que esta se compõe dos seguintes ruídos elementares: os ruídos mecânicos, devido à circulação do tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, e ao funcionamento de indústria pesada; ruídos sociais, nos quais se incluem os ruídos domésticos, ruídos derivados de festas religiosas, manifestações, comércio, etc; os ruídos humanos, derivados da comunicação entre indivíduos; e os avisadores sonoros, que integram ruídos com conteúdo informativo, como por exemplo as sirenes, o toque do telefone, e os ruídos de espaços sociais. A maior contribuição de [Schafer, 1977] consistiu no tratamento equitativo de todo o tipo de sons presentes no universo. O verdadeiro estudo da paisagem sonora deve examinar o *continuum* global de sons, incluindo sons com qualidades negativas e positivas, e engloba portanto quer os sons desagradáveis quer os agradáveis.

O ambiente sonoro deve ser tratado como um objecto que se pode reduzir a um único tipo de medição ou grupo de medições, em vez disso compreende um vasto conjunto de estímulos, cada um representando um tipo de informação capaz de fornecer uma grande variedade de experiências ambientais. A diferença entre um estudo de ruído e um estudo de paisagem sonora, tal como resumido por Porteus e Mastin em 1985 é que este último deve ser considerado como englobando o conteúdo perceptual, reintroduzindo a primazia do elemento humano, não sendo redutível a uma série de medições físicas.

Os textos de Truax e Corbin inspiraram Emily Thompson a definir "paisagem sonora" do seguinte modo: "Tal como uma paisagem, a paisagem sonora é simultaneamente um ambiente físico e um modo de aperceber esse ambiente, e é ao mesmo tempo, um mundo e uma cultura construída para fazer sentido "aquele mundo" [Thompson, 2004]. Assim, pode-se dizer que existem em paralelo dois tipos de "paisagem sonora", a paisagem sonora acústica e a paisagem sonora apercebida, designando-se o estudo da sua relação como psicofísica da paisagem sonora. O termo "paisagem sonora" contrasta com o termo "campo sonoro", correspondendo este último ao ambiente sonoro da fonte.

As paisagens sonoras das zonas urbanas e suburbanas consistem numa composição de sons originados pelas actividades humanas e sons naturais. Devido à sua complexidade

e à sua natureza dinâmica, um dos objectivos principais desta área é estabelecer uma metodologia mais eficaz para a sua captação, quer do ponto de vista acústico quer do ponto de vista perceptual.

3.5.2 Síntese dos estudos desenvolvidos

No final dos anos '60 e início da década de '70, foi iniciado por Schafer o projecto da paisagem sonora mundial (*World Soundscape Project*). Os estudos pioneiros sobre paisagens sonoras centraram-se na relação entre a audição, o ser humano, o ambiente sonoro e a sociedade. Os estudos estavam focalizados no modo como as pessoas percebem conscientemente o ambiente sonoro e a hipótese de modificarem a orquestração da paisagem sonora global [Truax, 1978]. Entre 1975 e 2000, foram visitadas por investigadores canadianos cinco cidades, por forma a examinar com grande detalhe as paisagens sonoras associadas. Neste âmbito foi constatado que a maioria das paisagens sonoras rurais estavam a ser radicalmente modificadas, englobando um número crescente de sons de origem mecânica (sons tecnológicos).

Em 1969 [Southworth, 1969] também conduziu estudos pioneiros deste domínio. De facto, nas suas investigações, estudou as reacções de diferentes grupos de populações numa visita a Boston, avaliando a identidade dos sons registados e analisando a sua agradabilidade, evidenciando que este atributo sonoro é muito mais complexo que qualquer grandeza física. Constatou igualmente que os sons de frequência e intensidade baixa ou média são preferíveis, mas que a agradabilidade aumenta quando os sons são desconhecidos, têm um carácter informativo ou são culturalmente reconhecidos. O trabalho desenvolvido permitiu concluir que, na informação contida num som, o contexto no qual é apercebido e o seu nível constituem três aspectos que influenciam a avaliação da paisagem sonora urbana.

[Porteus e Mastin, 1985] estudaram a paisagem sonora das redondezas urbanas de South Fairfield, em Victoria, no Canadá. Para o efeito, efectuaram registos áudio, sessões de escuta e inquéritos aos habitantes, tendo como base os sons registados. Os resultados obtidos permitiram mostrar que os residentes nas zonas urbanas têm níveis baixos de percepção da paisagem sonora e que o tipo de vida que se desenvolve nas cidades envolve geralmente um elevado grau de privação sensorial.

Foram também criadas organizações dedicadas ao estudo no domínio da paisagem sonora. Por exemplo, em França, o sociólogo e musicólogo Jean Francois Augoyard fundou o centro de investigação CRESSON (*Centre de Recherche sur l'Espace Sonore et l'Environnement Urbain*), em que tem sido desenvolvida muita actividade no domínio dos efeitos do som e no estudo da qualidade do espaço sonoro. Em 1993, foi fundada a associação de paisagem sonora japonesa, em que Torigoe estabeleceu o enquadramento para o *design* da paisagem sonora, a nível do planeamento urbano, e da acústica arquitectónica.

[Maffiolo *et al*, 1997] estudaram as representações mentais de paisagens sonoras familiares urbanas, utilizando mapas mentais e questionários abertos. A análise das descrições verbais e gráficas indica que as paisagens sonoras estão estruturadas em categorias complexas que integram as noções de tempo, localização e actividades. De modo similar, [Gustavino, 2003] estudou a escuta quotidiana em zonas urbanas, utilizando as descrições verbais, em formato livre. As principais categorias de sons identificados foram os sons provenientes de actividades humanas, sons de tráfego, sons da natureza e sons de música. Enquanto os sons decorrentes de actividades humanas e os sons naturais originavam julgamentos positivos, os sons de origem mecânica, pelo contrário, originavam juízos mais desfavoráveis. Esta distinção também foi observada em certas categorias como a música, a qual originava duas avaliações qualitativas opostas, dependendo do facto de reflectir actividade directamente humana (a presença física de um músico, por exemplo) ou indirecta (altifalantes, rádios de carros, por exemplo). No que respeita as fontes mecânicas, somente os carros eléctricos e o ruído dos transportes públicos originavam juízos positivos. A avaliação subjectiva do fenómeno acústico está intimamente ligada à apreciação da fonte sonora e ao significado que lhe é atribuído, sugerindo a utilização de vocábulos semânticos possa desempenhar um papel importante na sua categorização.

[Dubois e David, 1999] efectuaram uma aproximação cognitiva da paisagem sonora urbana, tendo-se os seus estudos centralizado no respectivo significado, integrando conceptualizações e metodologias acústicas, bem como de ordem linguística e psicológica. [Dubois e David, 1999] estudaram também o fenómeno acústico tal como é apercebido, concebido e identificado como relevante pelos sujeitos, realizando, para este efeito, experiências que combinavam análises linguísticas e análises psicológicas. Os resultados destes estudos sugerem que as paisagens sonoras urbanas incluem uma

combinação complexa de sons agradáveis e desagradáveis, influenciando a percepção dos sons e estando presentes na respectiva representação cognitiva a identidade da fonte e o contexto espacial e temporal de ocorrência dos sons. As conclusões do seu trabalho indicam que uma análise pluridisciplinar do problema permite identificar as principais categorias de sons, as suas propriedades linguísticas e níveis psicofisiológicos, antes da sua respectiva descrição em dimensões físicas. [López e Charles, 1995], num estudo de campo, conduzido em três cidades espanholas, mostraram que a identidade acústica de diferentes paisagens sonoras urbanas influenciavam a correspondente avaliação dos locais em estudo.

[Ellermeier *et al*, 2001] caracterizaram a sensibilidade individual ao ruído como uma característica de uma personalidade estável que capta uma atitude em relação a uma vasta gama de sons ambientais, tendo utilizado nos seus estudos uma amostra com 61 indivíduos sujeitos a vários procedimentos psicoacústicos, que variavam desde as determinações de limiares até tarefas de escalonamento da *sensação de intensidade auditiva*. Os resultados assim obtidos sugerem o facto de que as reacções de incomodidade individuais estavam dependentes dos atributos físicos do ruído, das atitudes para com a respectiva fontes e das características pessoais dos receptores.

Num estudo intercultural recente [Yang e Kang, 2005b], que integrou inquéritos em 14 praças públicas de cinco cidades de países europeus (Grécia, Reino Unido, Alemanha, Suíça e Itália) e abrangeu cerca de 6000 indivíduos, verificando-se diferenças significativas no que respeita às preferências sonoras entre cidades, embora os indivíduos de diferentes países seguissem uma tendência análoga na preferência de sons da natureza ou de sons relacionados com a dimensão cultural, rejeitando os provenientes do tráfego ou de trabalhos de construção. Por exemplo, no que respeita aos sons provenientes da fala, cerca de 50% dos entrevistados na praça de Thessaloniki, na Grécia, classificaram-nos como incomodativos, enquanto que na praça de Sesto San Giovanni, na Itália, aproximadamente 45% dos entrevistados os classificaram como preferenciais. Este estudo sugere que as preferências sonoras podem ser significativamente diferentes, devido a diferenças culturais e experiências ambientais de longo prazo.

Outro aspecto importante é a interacção entre estímulos visuais e sonoros. [Carles *et al*, 1999], apresentaram a 75 indivíduos 36 combinações de sons e imagens de paisagens

naturais e semi-naturais, bem como de espaços verdes urbanos, avaliando as respostas afectivas em termos de prazer. Os resultados obtidos mostraram uma classificação das preferências que variam desde os sons naturais até aos sons produzidos pelo homem, com uma ligeira alteração no que respeita aos sons de alerta. Estes resultados sugerem a existência de duas funções principais do som. A primeira, relacionada com a interpretação do som identificado, como água a correr, o canto dos pássaros ou vozes e veículos em andamento, enquanto que a outra função se relaciona com a estrutura abstracta da informação sonora. Os resultados deste estudo também permitiram avaliar de que modo os sons produzidos pelos humanos (voz, passos e conversação, por exemplo) se ajustam relativamente aos sons naturais (com julgamentos muito positivos) e aos sons tecnológicos (extensamente rejeitados). Em certos lugares com uma identidade ambiental distinta, qualquer perturbação acústica pode conduzir a uma deterioração rápida da sua qualidade sonora. Pelo contrário, a presença de sons naturais pode melhorar a respectiva qualidade sonora. Um estudo laboratorial similar conduzido por [Viollon *et al.*, 2002] conclui que o impacto das imagens visuais depende do cenário sonoro urbano em análise e envolve combinações audiovisuais. Para todos os ambientes sonoros que não integram qualquer som de natureza humana, a influência visual foi significativa e negativa. De facto, no estudo realizado, quanto mais urbano era a imagem apresentada, mais o ambiente sonoro era apercebido como menos agradável e relaxante.

No que respeita à aplicação de estudos de paisagem sonora ao âmbito do *design* de praças, um estudo conduzido por [Yang e Kang, 2005a], conclui que, no caso do ruído de fundo não ser excessivo, por exemplo abaixo de 65 dB(A), a introdução de marcas sonoras pode ter efeitos importantes para uma apreciação positiva desses espaços. De acordo com o tipo de sons, estas marcas podem ser classificadas com passivas ou activas, sendo as primeiras intencionalmente constituídas por sons conotados como agradáveis, como, por exemplo, o som de água a correr proveniente de uma fonte ou cascata artificial. No que respeita a marcas sonoras activas, a introdução de espaços próprios para o desenrolar de actividades, quer sejam em espaços verdes que só por si podem providenciar o aumento do número de sons naturais, quer sejam em espaços que possibilitem o desenvolvimento de actividades de lazer. Na sequência deste estudo, foi desenvolvido um modelo para a descrição da paisagem sonora de praças urbanas [Kang, 2007], que inclui quatro facetas: características de cada fonte; efeitos acústicos do espaço, aspectos sociais dos utilizadores e outros aspectos das condições físicas. A Figura 3.16 apresenta uma descrição esquemática do modelo proposto.

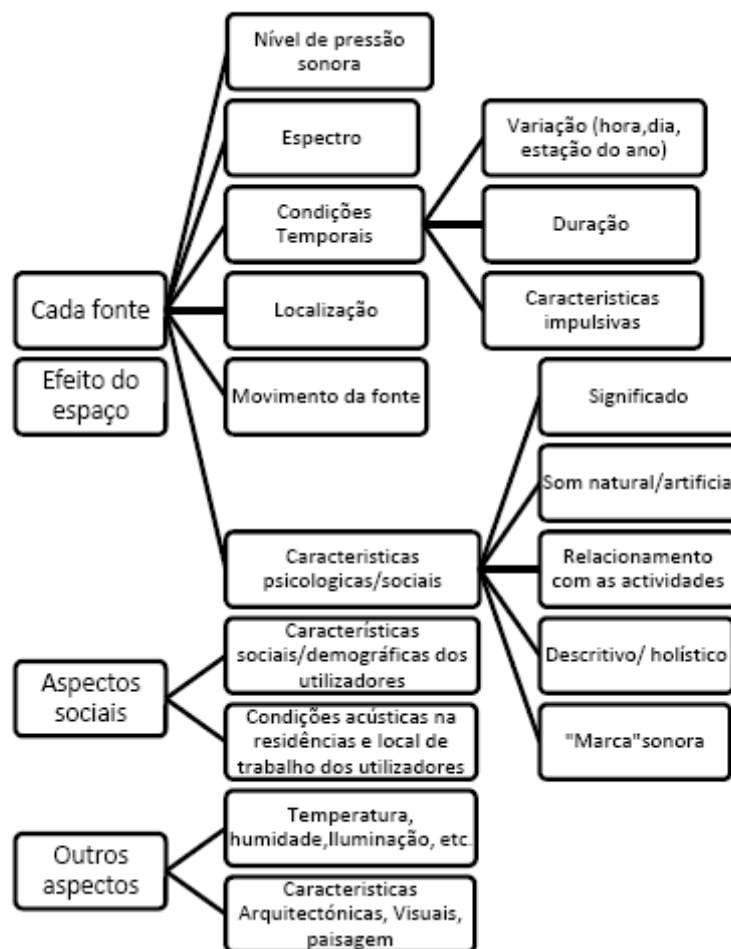


Figura 3.16 – Modelo para a descrição da paisagem sonora num espaço urbano (praça), figura adaptada de [Kang, 2007]

Para cada fonte, deve ser considerado o nível de pressão sonora, o espectro emitido, as condições temporais, a sua localização e movimento, e as correspondentes características psicológicas e/ou sociais dos percipientes. Em termos de nível de pressão sonora, devem ser tidos em conta não só o nível sonoro continuo equivalente, mas também os níveis estatísticos correspondentes. No caso de serem detectadas componentes tonais, deve ser tido em conta o espectro em bandas de frequência. Os aspectos temporais estão relacionados com a dinâmica de funcionamento do sistema auditivo humano, devendo-se descrever as características de impulsividade, taxa de variação e correspondente duração. Dado que o auditor humano tem a tendência natural de isolar os sons relativamente à sua posição (isto é isolar os sons conforme estes estão por detrás de si, em frente, ao lado, etc), sendo capaz de calcular a respectiva distância à fonte, importa caracterizar o movimento da fonte e/ou a sua localização, quando se

analisa a paisagem sonora de uma praça. No que respeita ao efeito do espaço, os factores relevantes incluem a forma desse espaço, os materiais que revestem os elementos fronteira, o mobiliário urbano e os elementos da paisagem. Há que ter igualmente em conta que a avaliação subjectiva de um espaço, que pode ser influenciada pelo ambiente acústico das zonas vizinhas, pelo que se deve descrever o ruído de fundo global e identificar os tipos de fontes sonoras específicas que se localizem nas proximidades do espaço em avaliação. Relativamente aos aspectos sociais/demográficos dos utilizadores do espaço em estudo, há que ter em conta a faixa etária, o sexo, o local da respectiva residência, o nível cultural e educacional. Em complemento, a descrição da paisagem sonora, no caso de praças públicas urbanas, é essencial à descrição de outros aspectos relativamente a condições físicas, tais como a temperatura, humidade, vento, e iluminação natural, entre outros.

Para a avaliação da qualidade da paisagem sonora urbana, [Guillén e Barrio, 2007a] utilizaram a técnica do diferencial semântico em 311 indivíduos, com idades compreendidas entre 18 e 34 anos, recorrendo a 18 pares de adjectivos relacionados com as propriedades acústicas e psicoacústicas do som (9 pares) e os restantes com avaliações estéticas e emocionais, utilizando registos sonoros (com durações entre 30 a 60 segundos) relativos a nove ambientes representativos dos arredores de zonas urbanas da cidade de Madrid (parques, auto-estrada, rua urbana, ruído de fundo urbano, praça, mercado, ruas pedonal residencial e comercial). Os dados foram processados com base na análise de componentes principais, originando 3 factores principais. O primeiro factor pode ser interpretado como uma avaliação de apreço ou rejeição do auditor relativamente à intensidade apercibida, tendo os autores do estudo designado-o por “avaliação emocional e factor de potência”. O segundo factor, designado por “actividade”, está relacionado com a natureza informativa e a variação temporal dos níveis sonoros. Finalmente, o terceiro factor foi designado por “claridade”, estando relacionado com o ponto de vista da estrutura e organização do estímulo sonoro. Com os resultados obtidos foram traçados os perfis sensoriais, verificando-se que se podiam agrupar em 3 conjuntos, de acordo com as suas diferenças e semelhanças: o primeiro, englobando a paisagem sonora do parque e a rua residencial que obtiveram do ponto de vista emocional, uma boa avaliação (agradável, bonito, relaxante, confortável, libertador e seguro). O segundo grupo, englobando as paisagens sonoras dominadas pelo tráfego (auto-estrada, rua urbana e ruído de fundo urbano), tendo sido avaliadas como desagradáveis, desconfortáveis e *stressantes*, opressivas e inseguras, e, por último, as

paisagens sonoras associadas aos locais onde decorrem actividades sociais e comerciais que obtiveram um escalonamento intermédio relativamente aos dois grupos anteriores, tendo sido avaliadas como algo ruidosas e animadas, informativas e variadas.

Na continuação deste estudo, foram também combinadas as imagens correspondentes com os estímulos sonoros. Neste caso, os resultados obtidos indicam que a avaliação da paisagem sonora depende não só dos atributos físicos mas também da imagem que o indivíduo dela tem e do significado que lhe atribui [Guillén e Barrio, 2007b]. Foi possível também constatar influências consideráveis de natureza complexa na interacção entre os estímulos visuais e sonoros, permitindo salientar a importância entre o estímulo sonoro e o contexto em que ocorre.

3.5.3 Metodologias para a caracterização da paisagem sonora

O primeiro passo para o estudo do ambiente acústico é a utilização de um sistema apropriado para a sua descrição. Num estudo coordenado por [Raimbault *et al.*, 2001] foi sugerida a consideração de duas categorias para a análise de espaços públicos urbanos: (i) actividades que implicam a presença humana ou transportes; (ii) atributos espaciais, incluindo localização ou natureza e registo temporal.

Os métodos e técnicas para recolha de informação em campo são determinados pela natureza dos dados a serem recolhidos, pelas relações hipotéticas entre estes, pelas possibilidades de obtenção dos dados, pelas características da população-alvo e do seu ambiente físico, pelo tamanho, distribuição e representatividade da amostra, e pelo tempo e recursos financeiros e humanos disponíveis para realizar a avaliação. Os métodos utilizados para levantamento de campo podem ser resumidos em cinco principais: observações, entrevistas, mapas mentais, questionários e levantamentos físicos (medições).

Para a simulação do ambiente sonoro urbano, [Nasar, 1983] assinalou o facto de ser preferível utilizar sujeitos que conheciam ou habitavam nas proximidades das zonas em estudo, em lugar da respectiva simulação por meio de apresentação de imagens e sons em laboratório, uma vez que nos julgamentos para a apreciação dos diversos ambientes, as pistas visuais dominam relativamente as sonoras.

A metodologia desenvolvida para a avaliação do ambiente sonoro em zonas urbanas pelo laboratório de investigação de Cresson [Coiuc e Deletre, 1999], engloba o registo dos juízos dos sujeitos enquanto realizam um passeio numa área seleccionada da zona urbana em estudo. Os registos assim obtidos são posteriormente analisados com recurso a um *software*, de modo a extrair classes de expressões com conteúdo semântico análogo. De seguida, é realizada a afectação da área específica correspondente a cada classe, são realizadas medições físicas nas áreas identificadas, que englobam medições de ruído, de temperatura e de iluminação natural. Uma outra técnica consiste na solicitação para a realização de esboços numa folha, de modo a ilustrar ou comentar o que representa a cidade do ponto de vista sonoro, técnica designada por elaboração de cartas mentais sonoras. [Amphoux, 1991] aplicou a técnica das cartas mentais em várias cidades europeias.

O estudo da paisagem sonora envolve a escuta, o registo, a monitorização e a utilização de técnicas de inquérito para a realização de uma análise descritiva, bem como a utilização de um sistema de registo áudio, de modo a se obter informação sobre o ambiente sonoro. No entanto, verifica-se a necessidade de os testes de escuta serem reproduzíveis para os vários indivíduos, de modo a possibilitar a comparação de resultados. Do mesmo modo, é também necessário conservar a qualidade técnica dos registos e manter a respectiva validade ecológica, ou seja, o modo de captação e registo reproduzido pelo gravador deve ser o mais próximo possível daquele que se atribui no contexto da vida quotidiana. Para a captação de sons, o sistema auditivo humano utiliza dois receptores, o que permite não só a identificação das fontes sonoras, mas também a sua localização num espaço tridimensional (escuta em modo binaural). Para este efeito, saliente-se a importância da tecnologia binaural, em que o som é registado nos ouvidos do indivíduo por meio de microfones miniatura, sendo posteriormente reproduzido por meio de auscultadores. Este tipo de actuação possibilita que o auditor tenha a mesma impressão auditiva espacial que a situação original registada.

Para a realização de uma análise subjectiva é necessário a utilização de técnicas das ciências sociais, nomeadamente entrevistas e/ou questionários. As entrevistas podem ser não directivas (ou livres), semidirectivas ou directivas (mais próximas dos questionários com questões abertas [Ghiglione e Matalon, 2005]. Os objectivos das entrevistas livres podem ser de duas categorias: obtenção de informações de ordem cognitiva (como é que o individuo organiza o campo que lhe é proposto e que conceitos e linguagem utiliza, por

exemplo); ou então a obtenção de informações de ordem afectiva (qual a sua vivência a esse respeito, por exemplo). Neste caso, o indivíduo é convidado a responder de forma exaustiva, com as suas próprias palavras, no seu próprio quadro de referência, a uma questão geral (o tema). Nas entrevistas semi-directivas, existe um esquema de entrevista, por exemplo, uma grelha de temas, e no âmbito de cada tema, os métodos aproximam-se de uma entrevista livre. No caso de uma entrevista directiva, existe um quadro de referência, em que os métodos utilizados pelo entrevistador são perfeitamente comparáveis aos utilizados por um entrevistador clássico que coloca questões delimitadas por um questionário.

Um questionário é por definição, um instrumento rigorosamente normalizado, tanto no texto das questões como na sua ordem [Ghiglione e Matalon, 2005]. Para a sua construção é necessário saber com exactidão o que se procura, garantir que as questões tenham o mesmo significado para todos, e que os vários aspectos do tema em análise sejam colocados da mesma forma, sem adaptações nem explicações suplementares resultantes da iniciativa do entrevistador. Os tipos de questões colocadas num questionário podem-se distinguir relativamente ao seu conteúdo e forma. No que respeita ao conteúdo pode-se distinguir duas grandes categorias de questões: as questões que se debruçam sobre os factos, e as questões que se debruçam sobre opiniões, atitudes e preferências. No que respeita à forma, pode-se colocar questões abertas, em que o indivíduo responde como quer, utilizando o seu próprio vocabulário, fornecendo os pormenores e fazendo os comentários que entendem, ou apresentar questões fechadas, onde se apresenta à pessoa, depois de se lhe ter colocada a questão, uma lista preestabelecida de respostas possíveis. Por último, o questionário pode comportar outras tarefas, como, por exemplo, pedir às pessoas que ordenem objectos, constituam categorias ou estabeleçam correspondências. Neste caso, podem ser utilizadas técnicas muito gerais, como a comparação de pares, ou mais específicas, como o diferencial semântico, das quais foi apresentada uma síntese no capítulo anterior.

O estudo para a avaliação da paisagem sonora é um assunto de natureza multidisciplinar, que deve integrar especialistas da área da acústica, urbanistas, arquitectos, geógrafos, psicólogos ambientais, sociólogos e artistas. De facto, para a sua avaliação, devem ser utilizados métodos de avaliação quantitativos estabelecidos com base em medições do nível sonoro e métodos de avaliação qualitativos utilizados nas ciências sociais, e baseados na maior parte em descrições verbais.

Capítulo 4 : Caracterização dos casos de estudo

4.1 Introdução

As localizações dos casos de estudo seleccionados para o presente trabalho distribuem-se ao longo da Via de Cintura Interna (também, designada por Itinerário Complementar nº 23), mais especificamente entre as zonas do Campo Alegre e da Prelada, no Porto.

A ideia da construção de uma “Avenida de Cintura” na cidade do Porto, assim como a construção de uma ponte a Poente da cidade (designada mais tarde por Ponte da Arrábida), surge com o Plano Geral de Urbanização de 1948, sendo formalizada em 1952 com o “Plano Regulador da Cidade do Porto”, ambos da autoria do Prof. Antão de Almeida Garret (Sucena, 2004). Esta Avenida de Cintura, com o objectivo de responder às exigências de circulação automóvel, começava na ponte projectada para a Arrábida e permitia a distribuição do tráfego para a Via Rápida de acesso a Leixões, para a Via Norte de acesso a Viana do Castelo e Braga e para Guimarães e Penafiel. O arco seria fechado por uma nova ponte mista (rodo e ferroviária), que substituiria a velha Ponte Maria Pia. Em 1962, O “Plano Director da Cidade do Porto, elaborado pela Câmara Municipal e coordenado pelo urbanista francês Robert Auzelle, Robert Auzelle aceitou a proposta de “Avenida de Cintura”, em vez de designação de “Via de Cintura Interna”, propondo um esquema idêntico, mas com ligeiras alterações pontuais do seu traçado em planta. A Junta Autónoma das Estradas assumiu o projecto de construção da ponte da Arrábida e de um troço da VCI, entre a ponte da Arrábida e a Via Norte. Em 1963, é inaugurado o lanço de estrada entre os Carvalhos e a Via Rápida (nó da Avenida AIP), no entanto, os trabalhos para a ligação à Via Norte foram interrompidos [Sucena, 2004]. Em 1985, foram lançados a concurso pela JAE mais dois troços dessa Via e, em 1990, estava concluída a ligação à Via Norte. O Plano Director Municipal, aprovado em 1993, subdividia a “Via de Cintura Interna” num primeiro lanço Nascente-Poente, até à ligação com as auto-estradas A3 e A4, que foi designado por “Itinerário Complementar” (IC23), tendo o restante lanço (previsto), que faria a conexão com a futura Ponte do Freixo, a nascente, sido designado por “Itinerário Principal” (IP1). Em 1994, a VCI foi prolongada até às Antas, absorvendo a Avenida de D. João II e substituindo a rotunda da Praça de D.

Manuel I, a meio da Avenida de Fernão de Magalhães, por um nó rodoviário. No ano seguinte foi construída a Ponte do Freixo e a VCI é prolongada até aí, a fim de receber o trânsito que vinha de sul [Sucena, 2004].

Actualmente, esta infra-estrutura de circulação rápida e com uma extensão de aproximadamente 21 km e em forma de anel semi-circular, normalmente com 3 faixas de rodagem em cada sentido, atravessa o interior da cidade do Porto e redistribui o tráfego de veículos entre as duas principais pontes sobre o rio Douro: a Ponte da Arrábida, a poente, e Ponte do Freixo, a nascente. A Norte, recebe um conjunto de vias de trânsito rápido que recolhe e distribui pontualmente, através de viários nós de maior ou menor complexidade [Sucena, 2004]. Esta infra-estrutura rodoviária, para além de permitir a distribuição dos fluxos de tráfego regionais, servindo zonas residenciais, industriais e comerciais, também é utilizada pelo tráfego nacional para aceder às restantes auto-estradas (nomeadamente, A1, A3, A4, A28 e A41). Nos finais de 2006, a ponte da Arrábida já suportava uma média de tráfego de 170 mil veículos por dia. Na sua envolvente, a VCI é marcada pela existência de um conjunto denso de edificado, cujo tipo de habitação se estende desde áreas residenciais de luxo (bairro do Foco e condomínio das Andrezas), cooperativas de habitação (condomínio da Prelada), a bairros sociais (bairros de Bessa Leite e Francos). A disposição deste edificado face à via, muitas vezes não é favorável do ponto de vista de exposição ao ruído, pois a respectiva construção foi efectuada antes do seu alargamento.

No que respeita à caracterização do ambiente sonoro, nas proximidades dos locais de estudo localizados no lanço da VCI compreendido entre o Nó da Arrábida e o Nó da Boavista, o estudo de impacte ambiental do IC23, elaborado para as Estradas de Portugal, no ano de 2007 [Coba, 2007a], aponta valores para o indicador L_{den} entre 75 e 64 dB(A) e para o indicador L_n , entre 68 e 60 dB(A). O estudo de tráfego, elaborado no âmbito do mesmo estudo de impacte ambiental do IC23, estima para o ano de 2011 e para o lanço anteriormente referenciado, uma previsão de tráfego médio diário de 7283 veículos (com cerca de 8% de veículos pesados) durante o dia, 5996 veículos (com cerca de 8% de veículos pesados) durante o período do entardecer e de 1819 veículos (com cerca de 10% de veículos pesados) durante o período nocturno. A previsão do ambiente sonoro, para o ano de 2011, aponta para valores do indicador L_{den} entre 80 e 73 dB(A) e para o indicador L_n , valores entre 80 e 71 dB(A) [Coba, 2007a].

4.2 Locais de estudo na VCI

4.2.1 Introdução

Ao longo da VCI, principalmente entre a zona seleccionada, localizada entre o km 304+00 e o km 307+615 do IC1, a malha do edificado é de natureza diversificada, variando entre: i) condomínios residenciais modernos, caracterizados por uma construção com fachadas, janelas e vidros duplos, como por exemplo o condomínio das Andrezas (Local 4, vd. Figura 4.24(a)); ii) zonas residenciais de luxo, edificadas há cerca de 30 anos e que integram zonas envolventes muito arborizadas (Zona do Foco, vd. Figura 4.16(b)); iii) bairros de construção em regime cooperativo, como no caso da Prelada (Local 5, vd. Figura 4.32(b)); iv) e bairros sociais (Bessa Leite e Francos, vd. respectivamente, as Figuras 4.2(b) e 4.40(a)), cuja qualidade habitacional é caracterizada por fachada, vidros e janelas simples, em que o ambiente sonoro no interior das habitações é fortemente influenciado pelo ruído de tráfego rodoviário. No Anexo I apresenta-se um conjunto de 4 ortofotos (cedido pela Estradas de Portugal), que mostram a localização ao longo da VCI, das zonas estudadas.

4.2.2 Caracterização dos locais seleccionados

4.2.2.1 Local 1 – Condomínio de São José (freguesia de Lourelo de Ouro)

O local de estudo designado por Condomínio de São José é um aglomerado habitacional com edifícios até 13 pisos, localizado entre os kms 304+200 e 304+000 do IC1, no lado direito da via, no sentido Freixo/Arrábida. As principais fontes sonoras são o tráfego rodoviário proveniente da VCI e acessos. A referida zona está classificada como zona mista e, no respectivo estudo de impacte ambiental (Coba, 2007a), o ambiente sonoro é caracterizado pelos seguintes valores dos indicadores de ruído: diurno 64 dB(A); entardecer: 63 dB(A); nocturno 60 dB(A), ao qual corresponde um valor de 67 dB(A) para o indicador de ruído diurno–entardecer–nocturno. Neste condomínio, o edificado dispõe-se com uma orientação perpendicular relativamente à via de tráfego, existindo, no entanto, algumas fracções em que a totalidade dos compartimentos estão virados para a

VCI. Em grande parte dos edifícios que constituem este condomínio existem janelas duplas com vidro duplo, pelo que os valores dos níveis sonoros no interior das referidas habitações atingem valores da ordem dos 30 dB(A). Na Figura 4.1, apresenta-se uma fotografia aérea (Condomínio de São José), podendo-se visualizar a disposição do edificado face à via, que se localiza a uma distância média de 25 m.

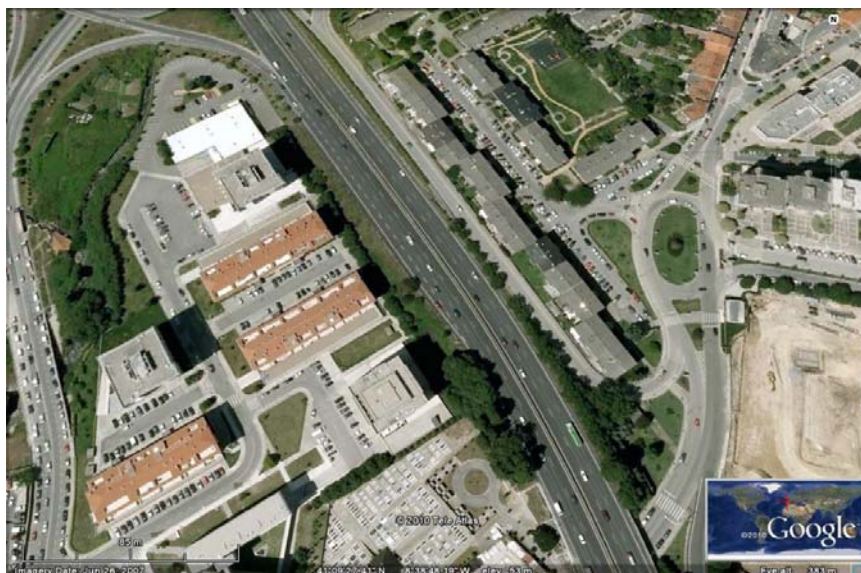


Figura 4.1 – Ortofotomapa das zonas de estudo designadas por Local 1 e Local 2 (fotografia retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03)

Na Figura 4.2, apresentam-se duas fotografias, a da direita é uma fotografia dos prédios que integram o condomínio de São João Bosco, e a da esquerda dos prédios que integram o Bairro de habitação social de Bessa Leite e que são referenciados neste trabalho, por Local 2.

No conjunto de Figuras seguintes (4.3 a 4.8), apresentam-se registos de espectros do ruído ambiente (essencialmente devido ao ruído de tráfego rodoviário), representativos da zona designada por Local 1. Para o efeito, foi utilizado o sistema de medição Pulse da *Bruel & Kjaer*, tendo sido realizadas medições durante 30 minutos, neste caso, durante o período da tarde. Em simultâneo com as medições foram gravados vários registos áudio, com a duração aproximada de 60 segundos cada. Estes registos foram posteriormente processados pelo programa *Sound Quality*, versão 14.



(a)

(b)

Figura 4.2 – Fotografias (a) do local 1 e (b) do Local 2, retiradas do Google Earth 5, em 2010-10-03

Pela análise da Figura 4.3, pode-se constatar que, no espectro do ruído de tráfego rodoviário, são dominantes as componentes de baixa frequência (até 200 Hz), numa gama de variação que se estende essencialmente até aos 4000 Hz. Esta forte componente de baixa frequência também é salientada no espectro de *sensação de intensidade auditiva*, por banda crítica (Figura 4.4), em que as bandas críticas de 2 e 4 Bark, respectivamente, $f_c = 250$ e $f_c = 450$ Hz, aparecem destacadas das restantes.

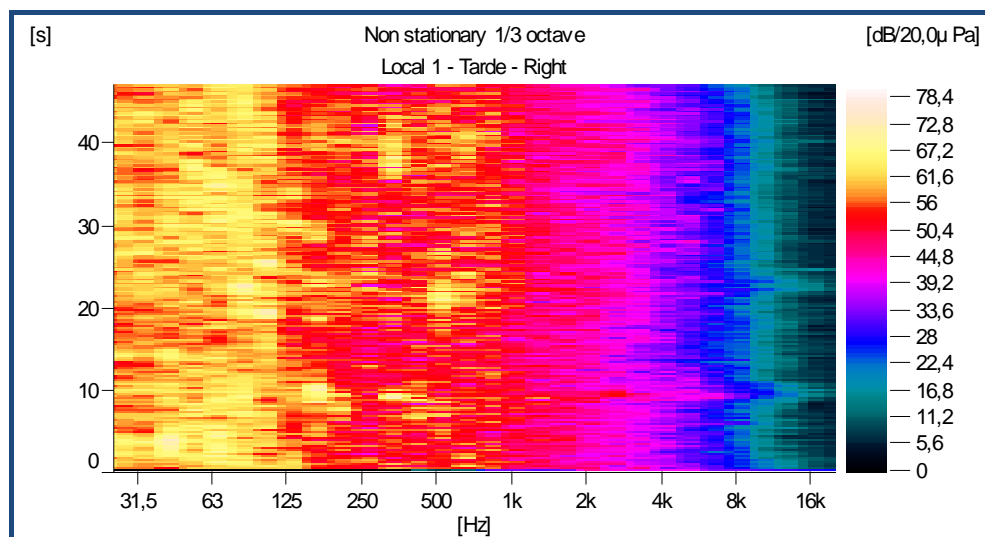


Figura 4.3 – Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 1

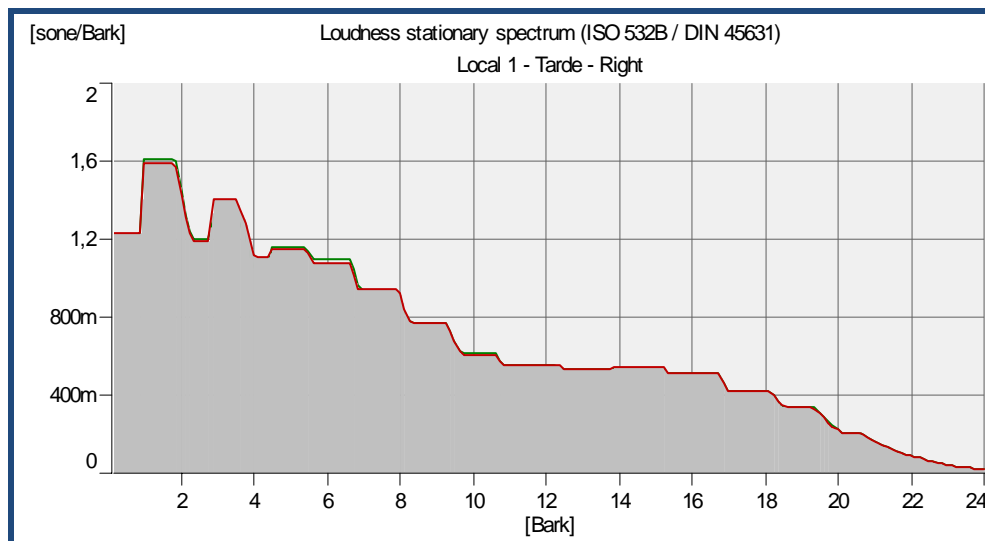


Figura 4.4 – Espectro da *sensação de intensidade auditiva*, por banda crítica, no Local 1

A Figura 4.5 apresenta a evolução, em função do tempo, da *sensação de intensidade auditiva* total, durante o período de duração do registo áudio, enquanto que na Figura 4.6 se apresenta a evolução, no tempo, do parâmetro psicoacústico “agudeza”. As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam respectivamente o parâmetro rugosidade em função da banda crítica e em função do tempo.

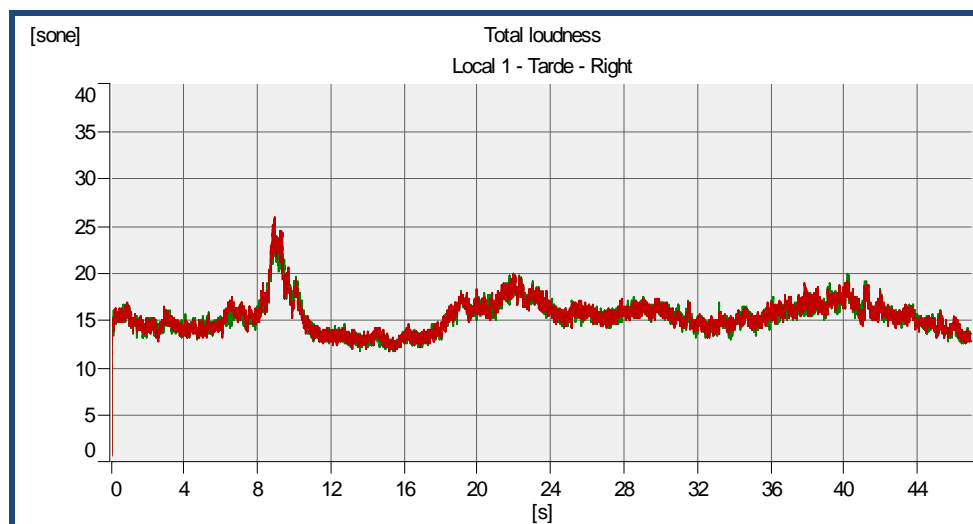


Figura 4.5 – Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, em função do tempo, no Local 1

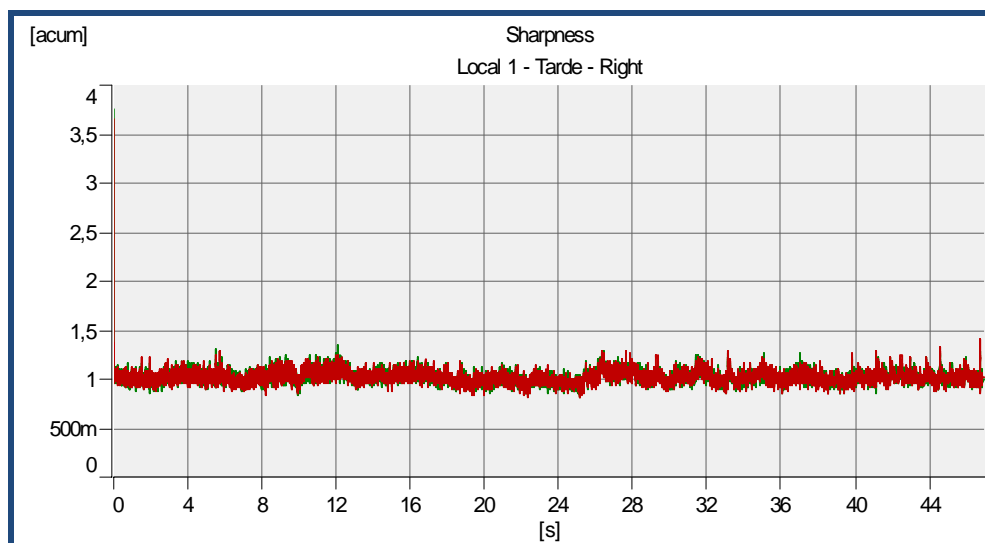


Figura 4.6 – Espectro da *agudeza*, em função do tempo, no Local 1

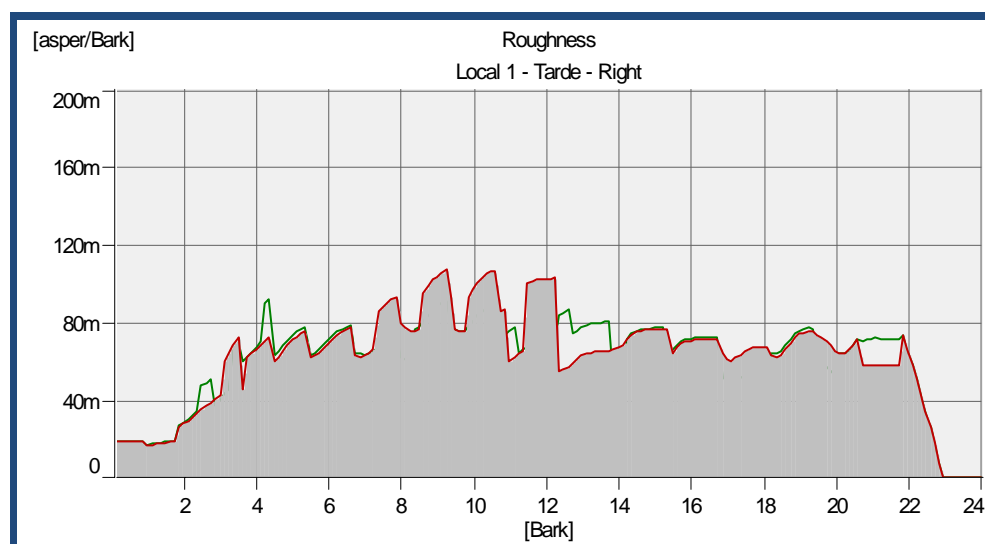


Figura 4.7 – Espectro da *rugosidade*, por banda crítica, no Local 1

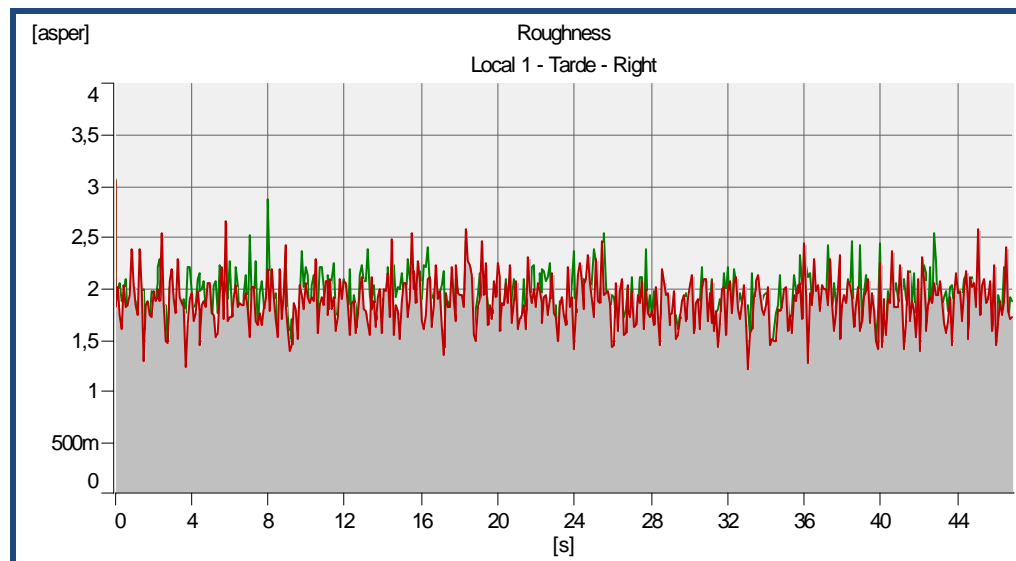


Figura 4.8 – Espectro da *rugosidade*, em função do tempo, no Local 1

4.2.2.2 Local 2 – Bairro Social de Bessa Leite

O bairro social de Bessa Leite, localizado entre os kms 304+000 e 304+300 do IC1, no lado esquerdo da via, no sentido Freixo/Arrábida, é constituído por um aglomerado habitacional com edifícios até 4 pisos, dispostos paralelamente à via e com uma construção caracterizada por fachada única, janelas simples e vidros com um único pano. Os compartimentos das fracções dos prédios mais próximos da VCI (apresentados na Figura 4.2(b)), localizados aproximadamente a uma distância de cerca de 25 m, são caracterizados por possuírem as cozinhas, salas e alguns quartos voltados para a VCI. As principais fontes de ruído são o tráfego rodoviário proveniente da VCI e dos respectivos acessos. A referida zona está classificada como zona mista e, no estudo de impacte ambiental [Coba, 2007a], o ambiente sonoro é caracterizado pelos seguintes valores dos indicadores de ruído: diurno 72 dB(A); entardecer: 71 dB(A); nocturno 68 dB(A), ao qual corresponde um valor para o indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno de 75 dB(A).

No conjunto de Figuras 4.9 a 4.14 apresenta-se os registos de espectros de ruído ambiente (essencialmente devido ao ruído de tráfego rodoviário), representativos da zona designada por Local 2, obtidos utilizando procedimento idêntico ao referenciado para a obtenção dos espectros do Local 1. Tal como no caso anterior, a intensidade associada

às das bandas espectrais de baixa frequência é preponderante, quer no caso do espectro em bandas de terço de oitava (Figura 4.9), quer no caso do espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, devendo-se esse facto à passagem de veículos pesados, valores esses que correspondem aos máximos apresentados no gráfico da Figura 4.11 (*sensação de intensidade auditiva* em função do tempo). Relativamente às componentes de alta frequência, a respectiva evolução no tempo é muito idêntica ao apresentado para o local 1 (Figura 4.6), variando o seu valor entre 1 e 1,5 acum.

As Figuras 4.13 e 4.14, apresentam respectivamente a evolução do parâmetro *rugosidade* em função da banda crítica e em função do tempo.

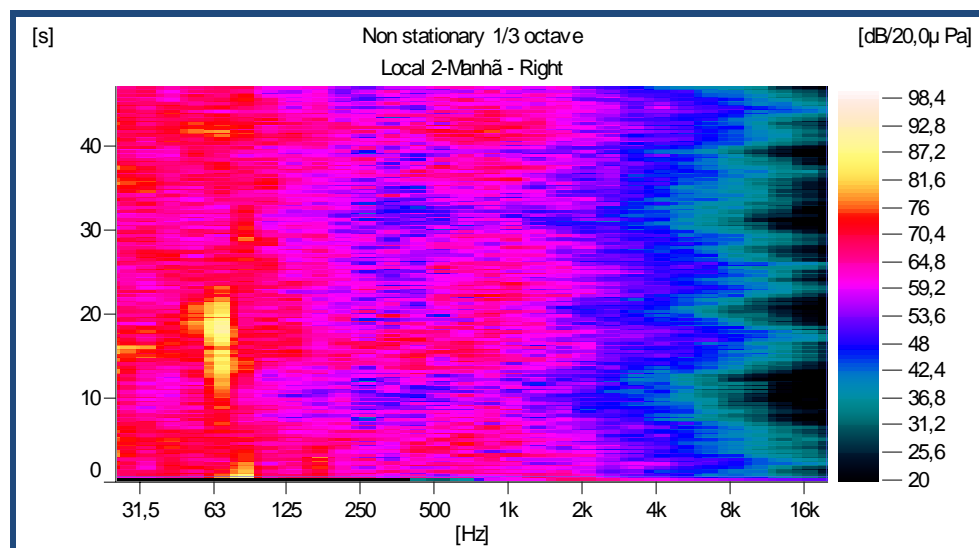


Figura 4.9– Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 2

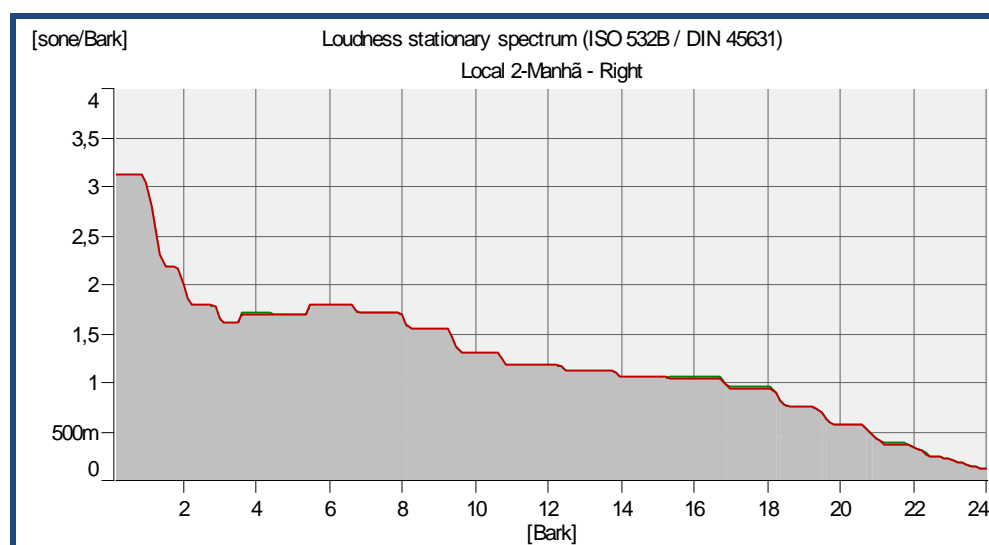


Figura 4.10– Espectro da *sensação de intensidade auditiva*, por banda crítica, no Local 2

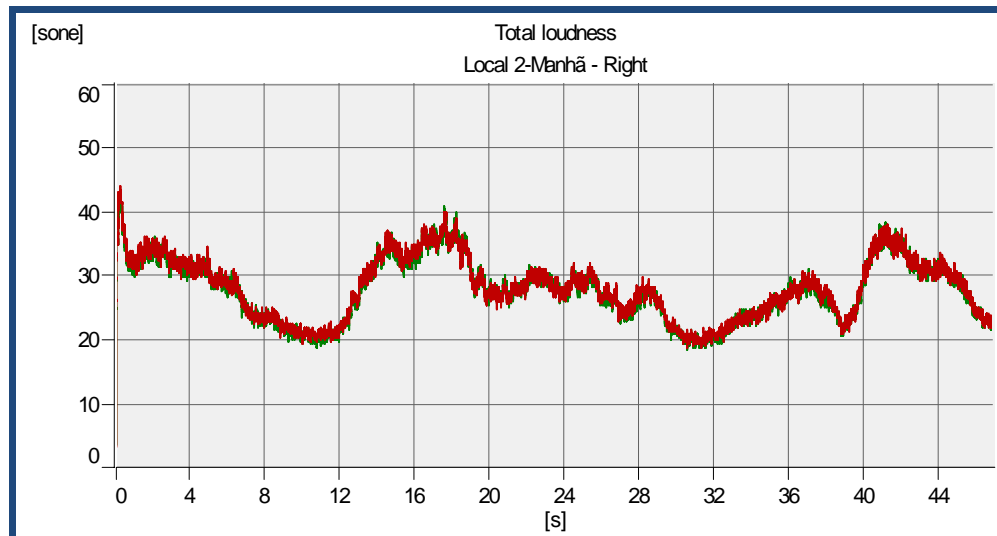


Figura 4.11– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, em função do tempo, no Local 2

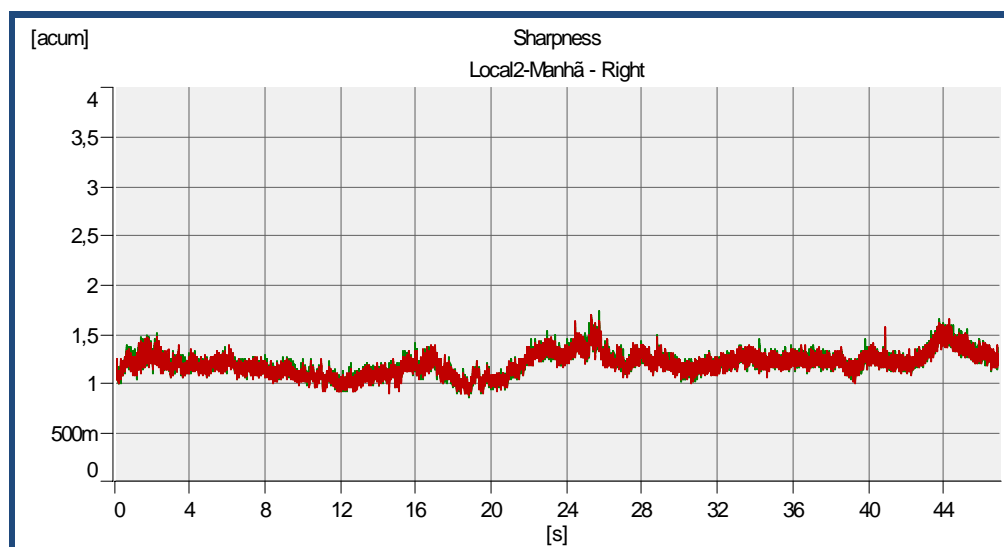


Figura 4.12– Espectro da *agudeza* em função do tempo, no Local 2

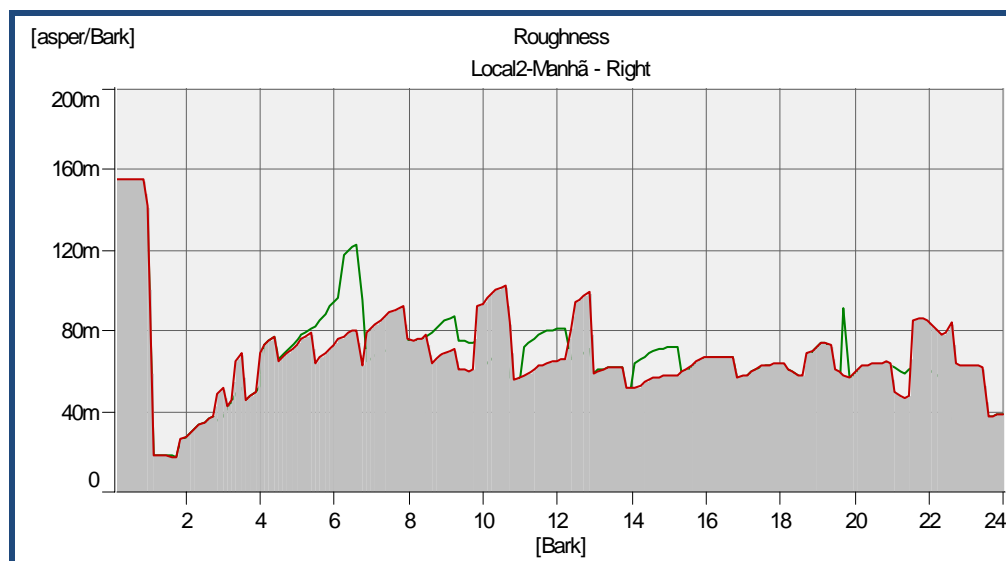


Figura 4.13– Espectro da *rugosidade* por banda crítica, no Local 2

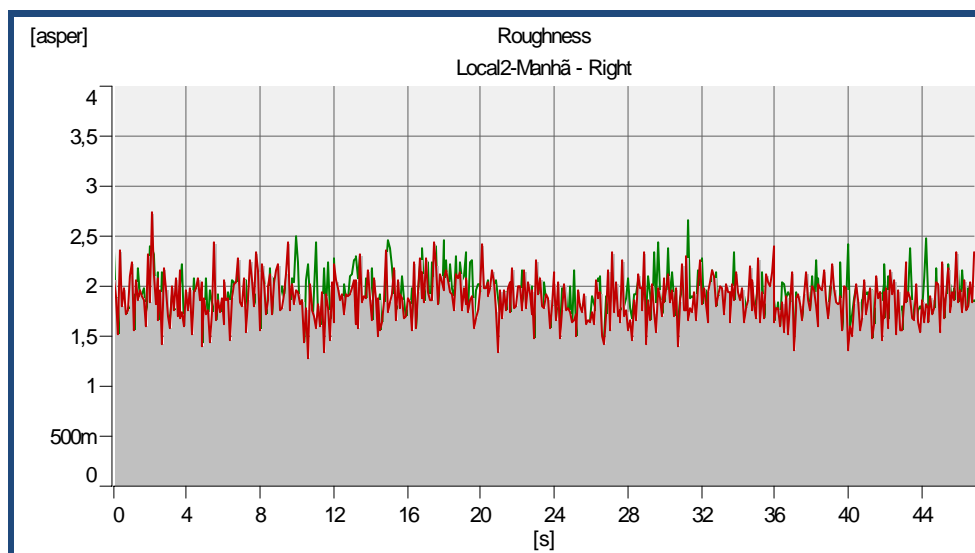


Figura 4.14– Espectro da *rugosidade* em função do tempo, no Local 2

4.2.2.3 Local 3 – Bairro do Foco

O bairro do Foco foi um dos primeiros bairros de luxo do Porto, em que alguns edifícios datam já da década de 70 do séc. XX, e está localizado entre kms 305+100 e 304+500 do IC1, no lado esquerdo da via, sentido Freixo/Arrábida. Este aglomerado habitacional é constituído por edifícios cujo número de pisos varia entre 13 e 20, localizando-se os prédios mais próximos da via a uma distância de 30 metros. Na Figura 4.15 apresenta-se a traço interrompido de cor vermelha, os edifícios seleccionados, enquanto que a azul, se

apresenta um edifício, designado por condomínio da Boavista (Figura 4.16, fotografia da esquerda), em que os primeiros 5 pisos são destinados a serviços, e os restantes 13 pisos à habitação.

Neste local, a principal fonte sonora é o tráfego rodoviário proveniente da VCI, da Avenida da Boavista e das avenidas paralelas e vias locais. A referida zona está classificada como zona mista, tendo sido no estudo de impacte ambiental [Coba, 2007a] apresentados os seguintes valores para os indicadores de ruído: diurno: 71 dB(A); entardecer: 70 dB(A); nocturno: 68 dB(A), a que corresponde uma valor do indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno de 75 dB(A).



Figura 4.15 – Ortofotomapa das zonas de estudo designada por Local 3 (fotografia retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03)



(a)



(b)

Figura 4.16 – Fotografias do Local 3, (a) zona próxima da av. da Boavista, e (b) zona do Foco, retiradas do Google Earth 5, em 2010-10-03)

No conjunto de Figuras 4.17 a 4.22, apresenta-se os registos de espectros de ruído ambiente (essencialmente devido ao ruído de tráfego), representativos do Local 3. Tal como nos casos anteriores, a intensidade associada às das bandas espectrais de baixa frequência, é preponderante, quer no caso do espectro em bandas de terço de oitava (Figura 4.17), quer no caso do espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica (Figura 4.18). Relativamente às componentes de alta frequência, a respectiva evolução no tempo é muito idêntica à apresentada anteriormente.

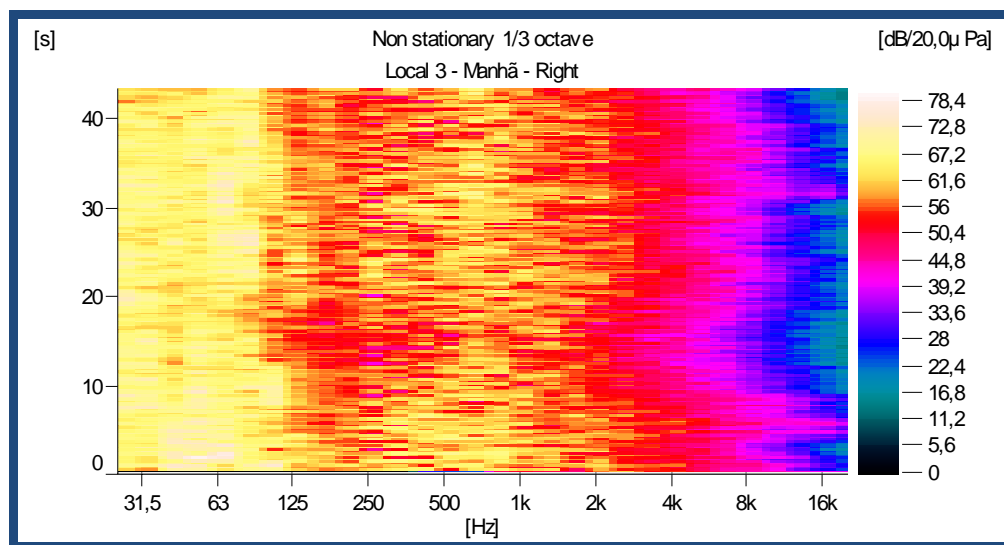


Figura 4.17– Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 3

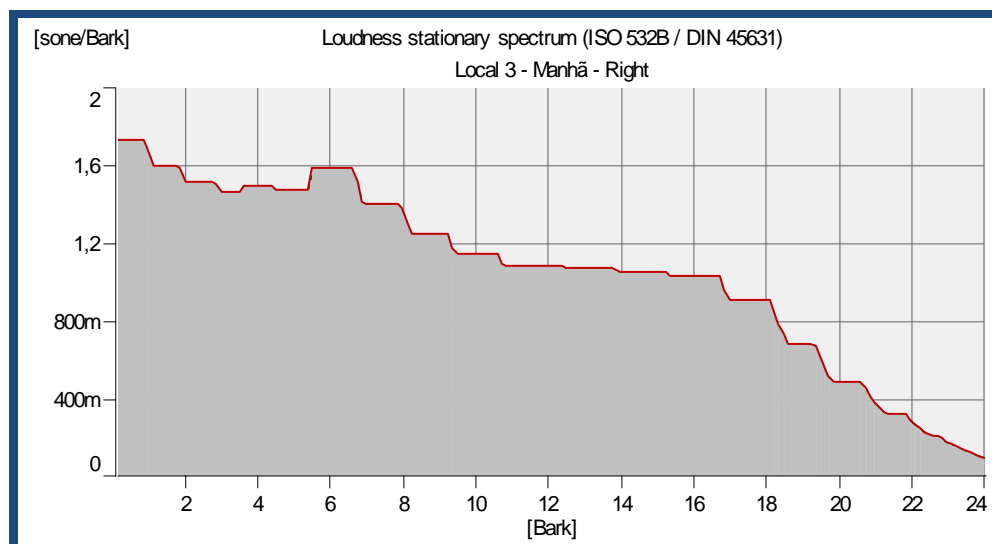


Figura 4.18– Espectro da *sensação de intensidade auditiva*, por banda crítica, no Local 3

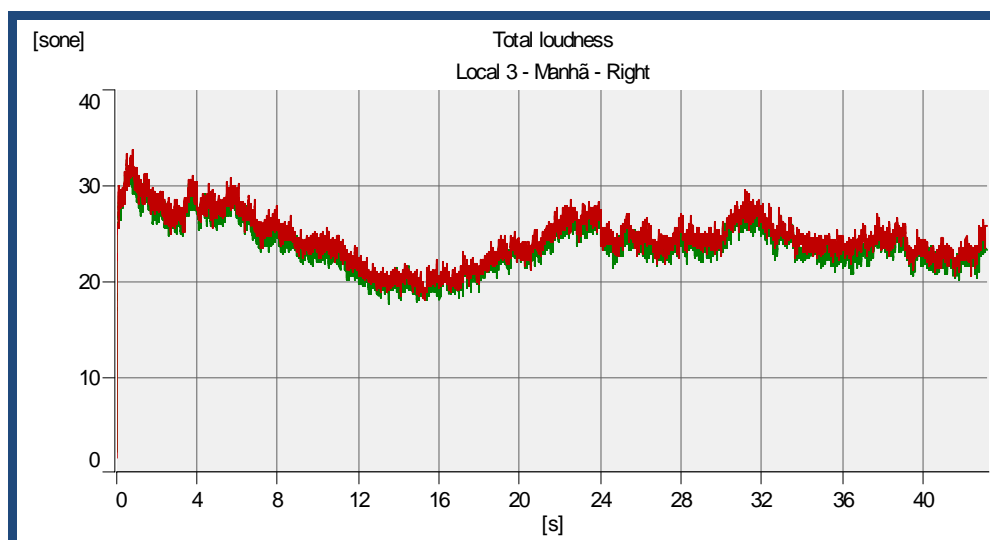


Figura 4.19– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, em função do tempo, no Local 3

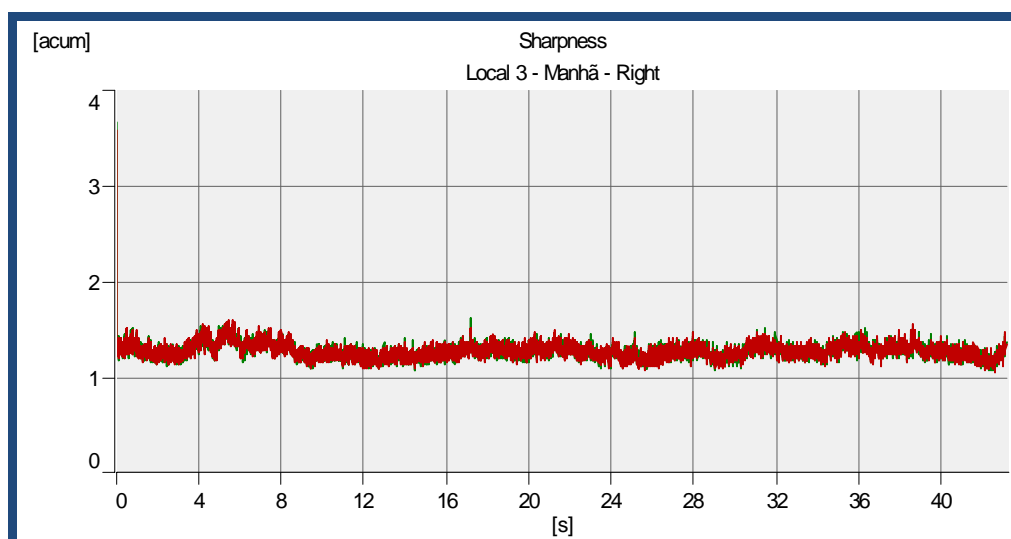


Figura 4.20– Espectro da *agudeza*, em função do tempo, no Local 3

As Figuras seguintes 4.21 e 4.22 apresentam, respectivamente, o parâmetro *rugosidade* em função da banda crítica e em função do tempo.

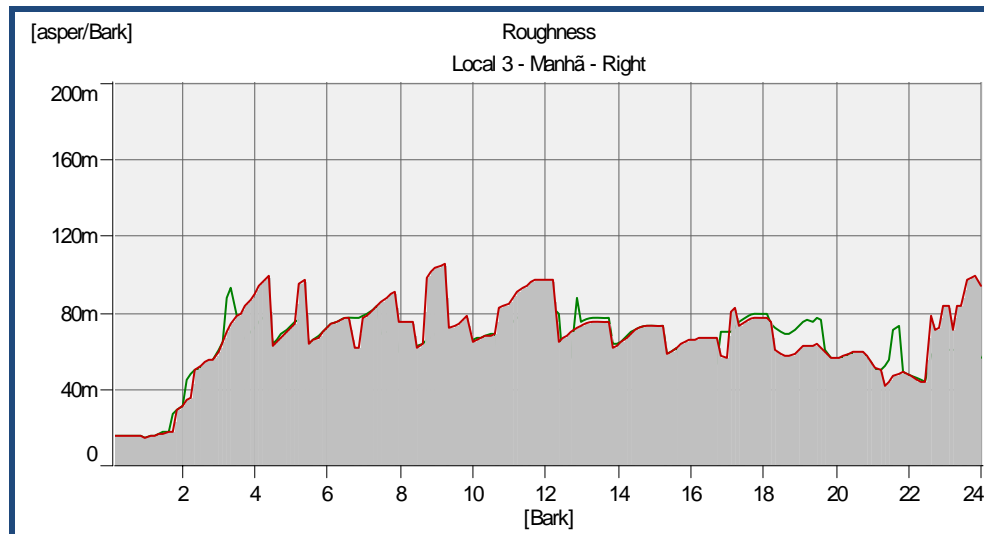


Figura 4.21– Espectro da *rugosidade* por banda crítica, no Local 3

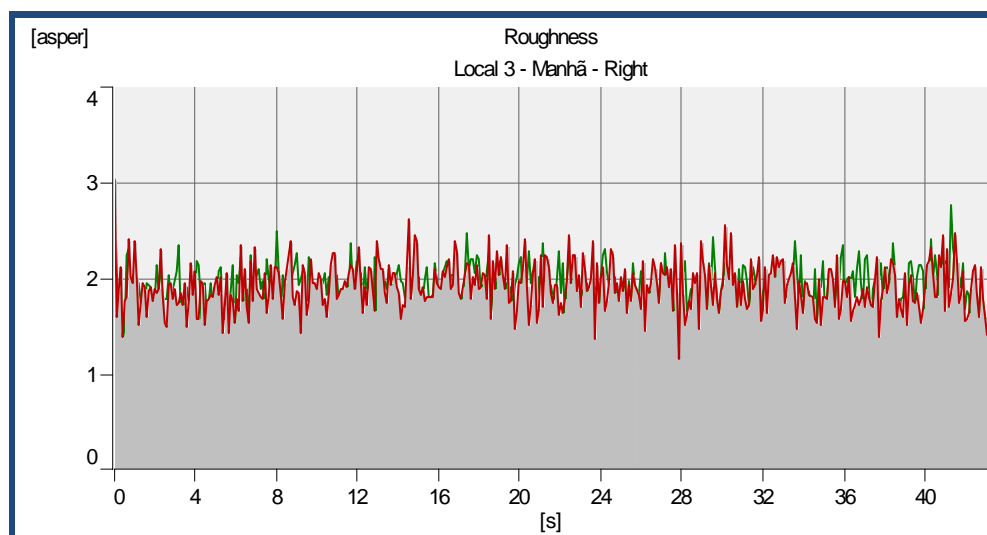


Figura 4.22– Espectro da *rugosidade* em função do tempo, no Local 3

4.2.2.4 Local 4 – Condomínios de São João Bosco e das Andrezas

A fotografia da Figura 4.23 apresenta a traço interrompido de cor verde, a zona que delimita os edifícios que integram o condomínio São João Bosco, localizados entre os kms 305+200 e 304+700 do IC1 do lado direito da via, no sentido Freixo/Arrábida. A distância média destes edifícios à VCI é de 30 metros. No entanto, as fracções mais próximas encontram-se a uma distância de 15 metros. Os edifícios que integram este

condomínio, têm cerca de 6 pisos e são caracterizados por possuírem fachadas, janelas e vidros simples. A Figura 4.23, apresenta a roxo a zona que delimita os edifícios que integram o condomínio das Andrezas. Neste condomínio fechado, o tipo de construção é distinto do anterior, apresentando fachadas duplas, e janelas com vidro duplo. As fracções mais próximas da VCI que integram este condomínio estão a uma distância de 25 metros.



Figura 4.23 – Ortofotomapa das zonas de estudo designada por Local 4 (fotografia retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03)



(a)



(b)

Figura 4.24– Fotografias do Local 4, zona próxima do Condomínio de São João Bosco (fotografia da esquerda), e zona do Condomínio das Andrezas, (fotografia da direita), retiradas do Google Earth 5, em 2010-10-03)

Neste local, as principais fontes sonoras são o tráfego rodoviário proveniente da VCI, Avenida Paralela e vias locais. A referida zona está classificada como zona mista, tendo

sido no estudo de impacto ambiental [Coba, 2007a] apresentados os seguintes valores para os indicadores de ruído: diurno: 70 dB(A); entardecer: 69 dB(A); nocturno: 67 dB(A), a que corresponde um valor do indicador de ruído diurno–entardecer–nocturno de 74 dB(A).

As Figuras 4.25 a 4.30 apresentam os registos de espectros do ruído ambiente (essencialmente devido ao ruído de tráfego rodoviário), representativos do Local 4. Tal como nos casos anteriores, a intensidade associada às das bandas espectrais de baixa frequência é preponderante. No que respeita às componentes de alta frequência, a respectiva evolução no tempo é muito idêntica ao apresentado anteriormente.

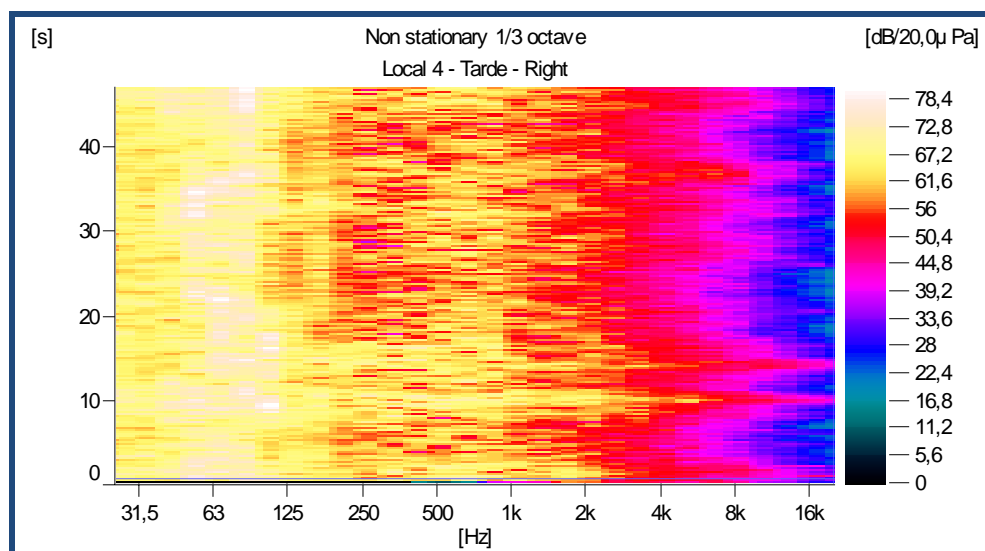


Figura 4.25– Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 4

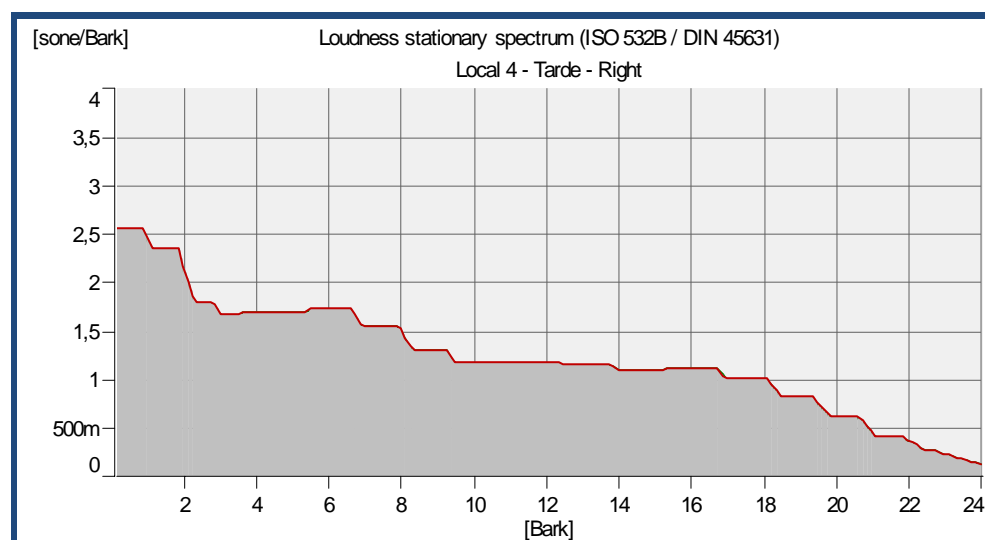


Figura 4.26– Espectro da *sensação de intensidade auditiva*, por banda crítica, no Local 4

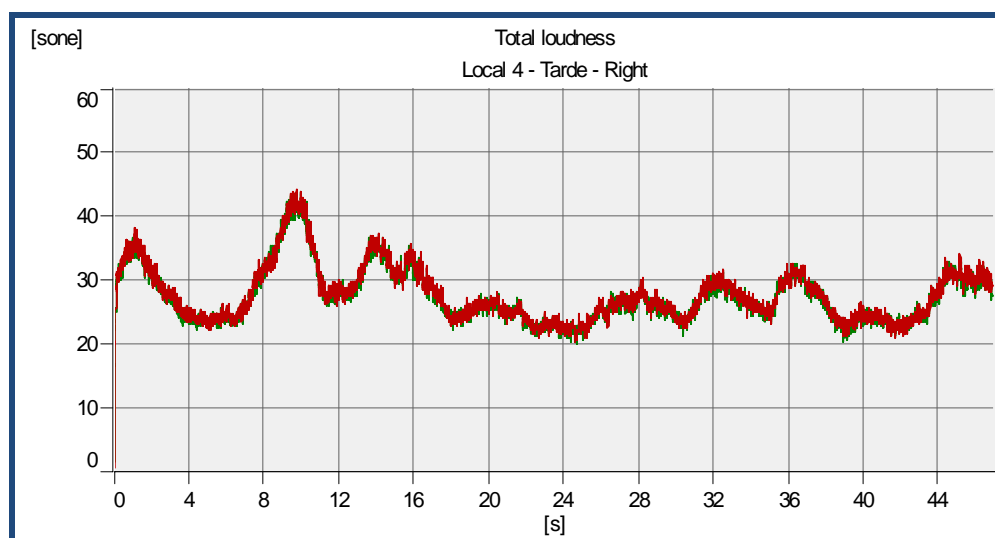


Figura 4.27– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, em função do tempo, no Local 4

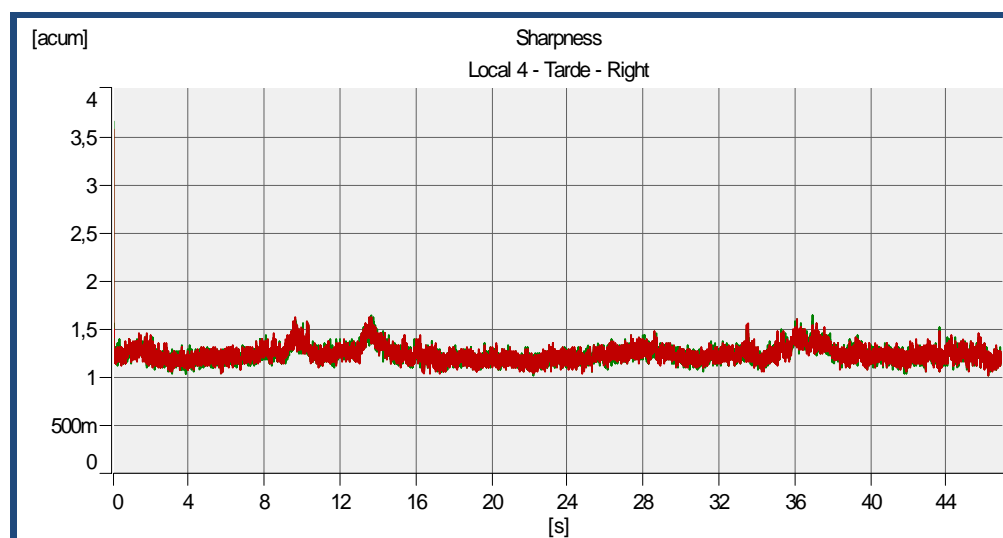


Figura 4.28– Espectro da *agudeza*, em função do tempo, no Local 4

As Figuras 4.29 e 4.20 apresentam, respectivamente, o parâmetro *rugosidade* em função da banda crítica e em função do tempo.

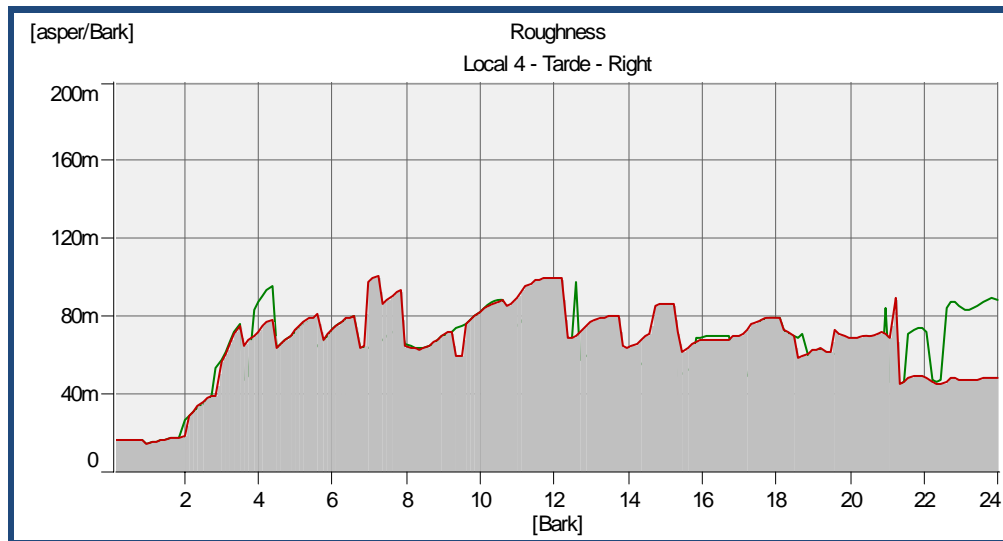


Figura 4.29– Espectro da *rugosidade*, por banda crítica, no Local 4

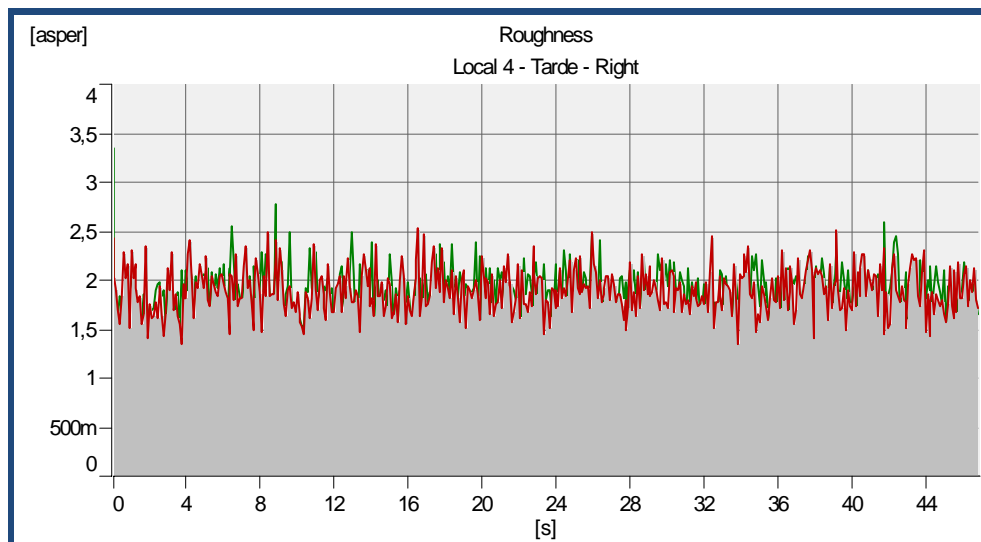


Figura 4.30– Espectro da *rugosidade*, em função do tempo, no Local 4

4.2.2.5 Local 5 – Bairro Cooperativa da Prelada

O bairro Cooperativa da Prelada está localizado entre os kms 306+220 e 307+615 do IC1, no lado direito da via, no sentido Freixo/Arrábida e é constituído por edifícios com 13 pisos (ver Figuras 4.31 e 4.32), de fachada simples, em que os edifícios mais próximos da via estão a uma distância de 25 metros. As principais fontes sonoras são o de tráfego proveniente da VCI e respectivos acessos. Refira-se que, nesta zona, existe um sistema de controlo de velocidade por radar (com a limitação de velocidade para 90 km/h). A

referida zona está classificada como zona mista, tendo sido no estudo de impacto ambiental [Impacte Sonoro, 2004] apresentados os seguintes valores para o nível sonoro contínuo equivalente (saliente-se que este estudo foi efectuado de acordo com o Decreto-Lei 292/200, de 14 de Novembro): diurno: 74 dB(A); nocturno: 70 dB(A).



Figura 4.31– Ortofotomapa das zonas de estudo designada por Local 5 (fotografia retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03)



(a)



(b)

Figura 4.32– Fotografias do Local 5, (a) Vista da VCI e (b) pormenor do edifício, retiradas do Google Earth 5, em 2010-10-03

As Figuras 4.33 a 4.38 apresentam os registos de espectros do ruído ambiente (essencialmente devido ao ruído de tráfego rodoviário), representativos do Local 5. Tal como anteriormente, a intensidade associada às bandas espectrais de baixa frequência é preponderante. No que respeita às componentes de alta frequência, a respectiva evolução no tempo é muito idêntica aos locais anteriores.

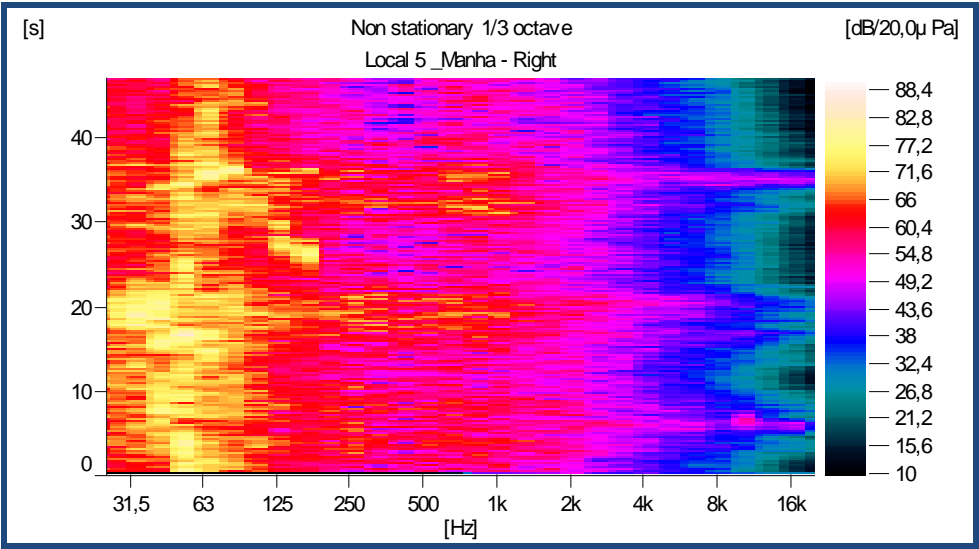


Figura 4.33– Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 5

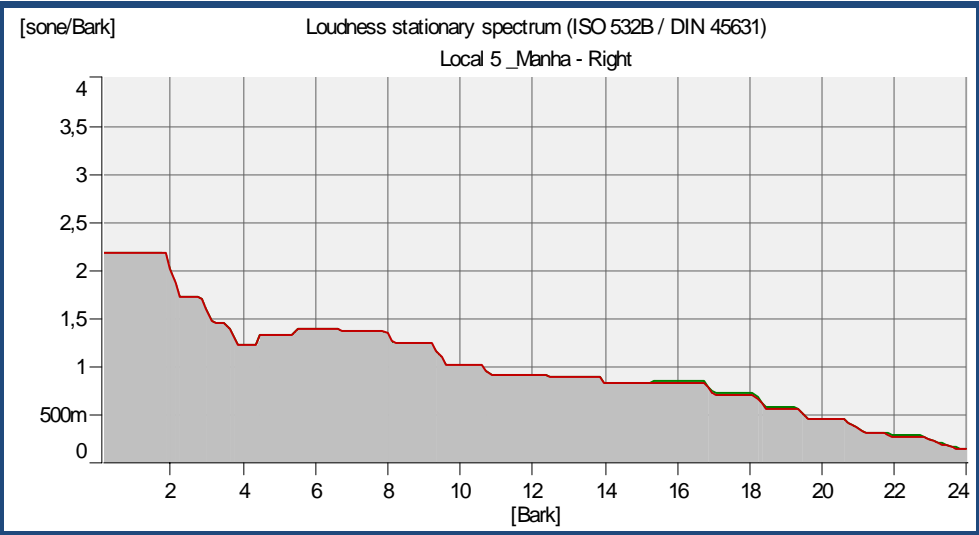


Figura 4.34– Espectro da *sensação de intensidade auditiva*, por banda crítica, no Local 5

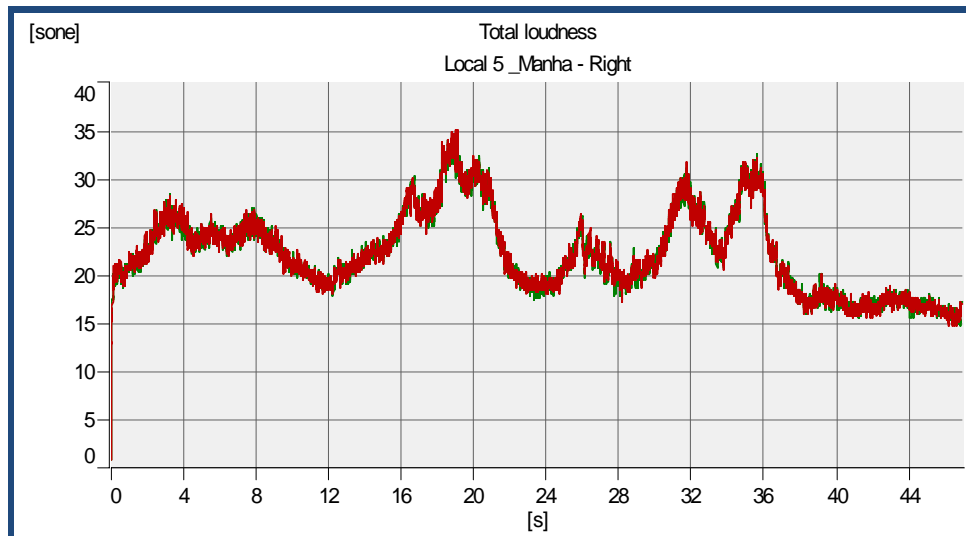


Figura 4.35– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, em função do tempo, no Local 5

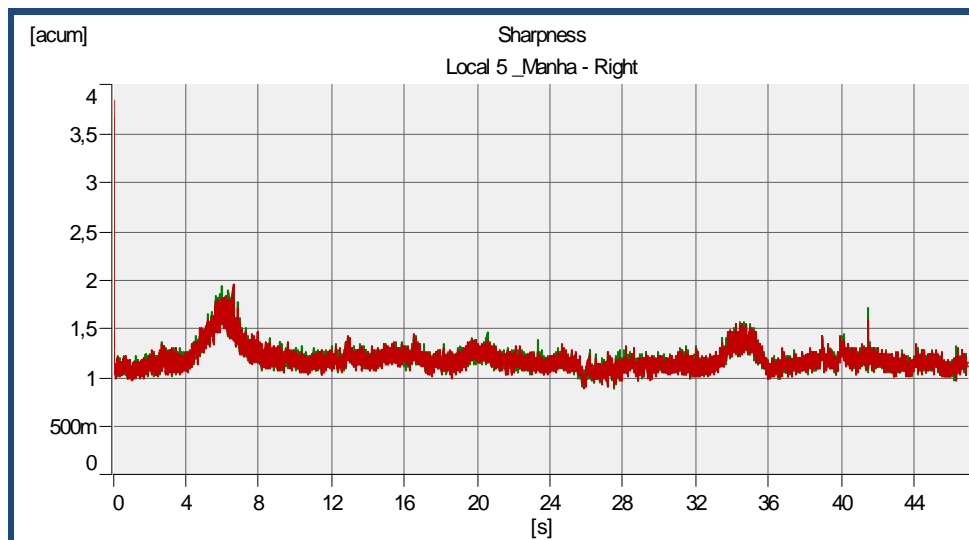


Figura 4.36– Espectro da *agudeza*, em função do tempo, no Local 5

As Figuras seguintes 4.37 e 4.38 apresentam, respectivamente, o parâmetro *rugosidade* em função da banda crítica e em função do tempo.

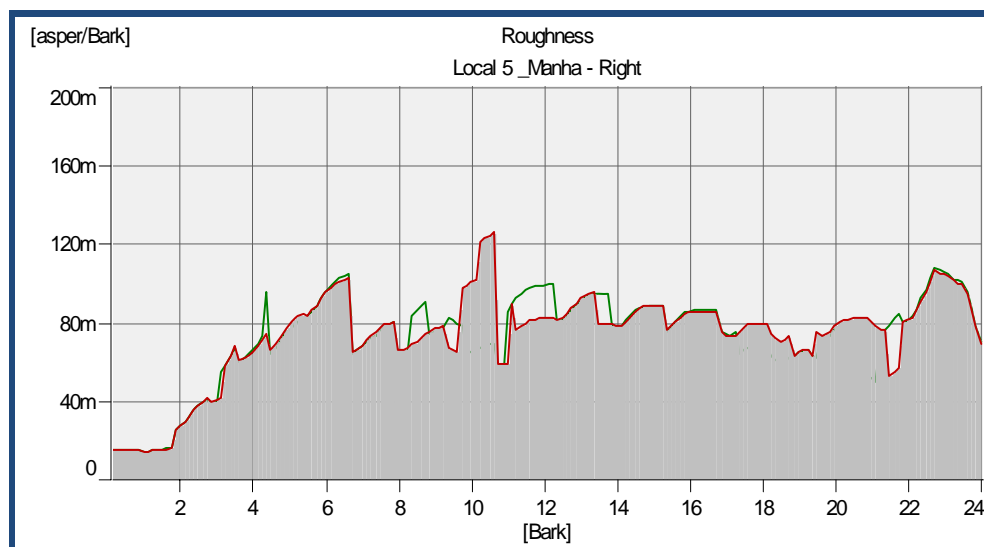


Figura 4.37– Espectro da *rugosidade* por banda crítica, no Local 5

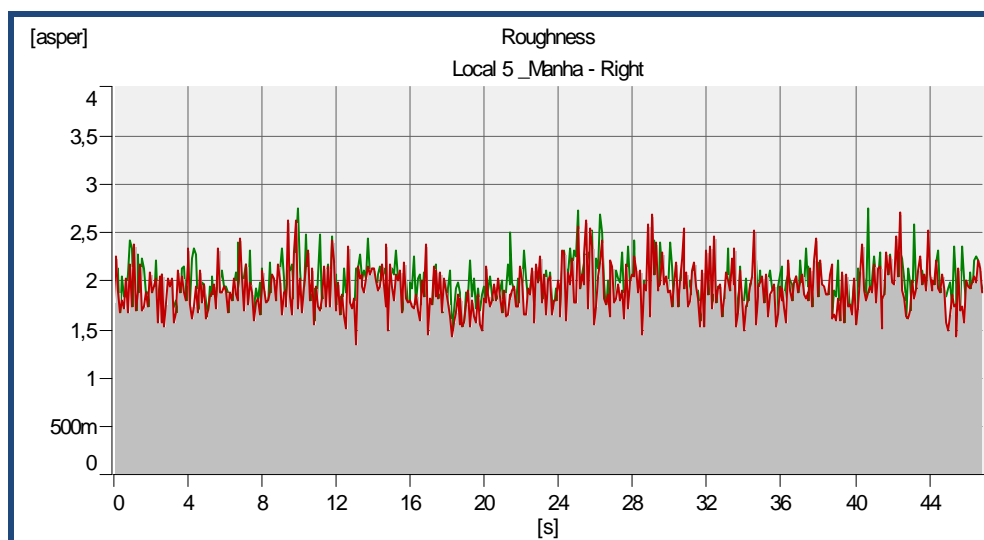


Figura 4.38– Espectro da *rugosidade* em função do tempo, no Local 5

4.2.2.6 Local 6 – Bairro Central de Francos

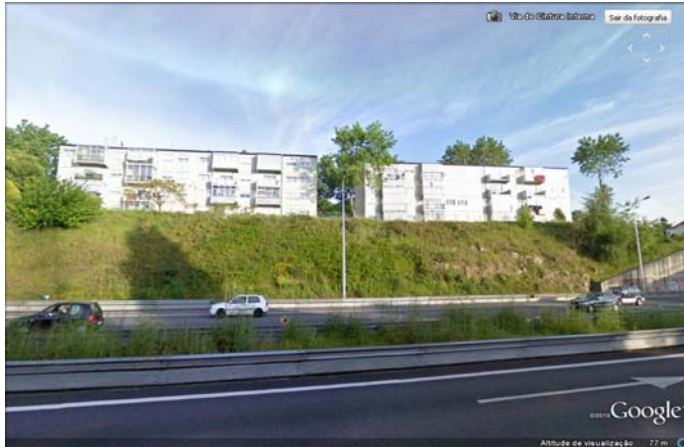
O Bairro Central de Francos é um bairro social constituído por um aglomerado habitacional até 3 pisos, localizado entre os kms 306+100 e 306+205 do IC1, no lado esquerdo da via, no sentido Freixo/Arrábida. Esta zona apresenta a particularidade de se localizar no topo de um talude relativamente à VCI, mas, tendo em conta a sua proximidade à via (os edifícios mais próximos estão a uma distância de 10 metros), as

principais fontes sonoras são o tráfego rodoviário proveniente da VCI e respectivos acessos. Refira-se que, na proximidade desta área, passa o metro de superfície do Porto. A referida zona está classificada como zona mista, tendo sido no estudo de impacte ambiental [Impacte Sonoro, 2004] apresentados os seguintes valores para os níveis sonoros: diurno: 75 dB(A); nocturno: 71 dB(A). Neste bairro, os edifícios que estão directamente virados para a VCI possuem compartimentos, como salas e quartos, directamente expostos à VCI, enquanto que compartimentos com uso menos sensível ao ruído (cozinhas e casa de banho) se localizam na fachada mais sossegada. As janelas destes edifícios são de vidro simples.



Figura 4.39– Ortofotomapa das zonas de estudo designada por Local 6 (fotografia retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03)

Na Figura 4.40(b) apresenta-se um detalhe da fachada dos edifícios do Bairro Social de Francos que estão directamente voltadas para a VCI.



(a)



(b)

Figura 4.40– (a) Fachadas viradas para a VCI no Local 6 (fotografia da esquerda retirada do Google Earth 5, em 2010-10-03) e (b) detalhe das respectivas fachadas

As Figuras 4.41 a 4.46 apresentam os registos de espectros do ruído ambiente representativos do Local 6. Mais uma vez, a intensidade associada às das bandas espectrais de baixa frequência é preponderante. No que respeita às componentes de alta frequência, a respectiva evolução no tempo é muito idêntica aos locais anteriores.

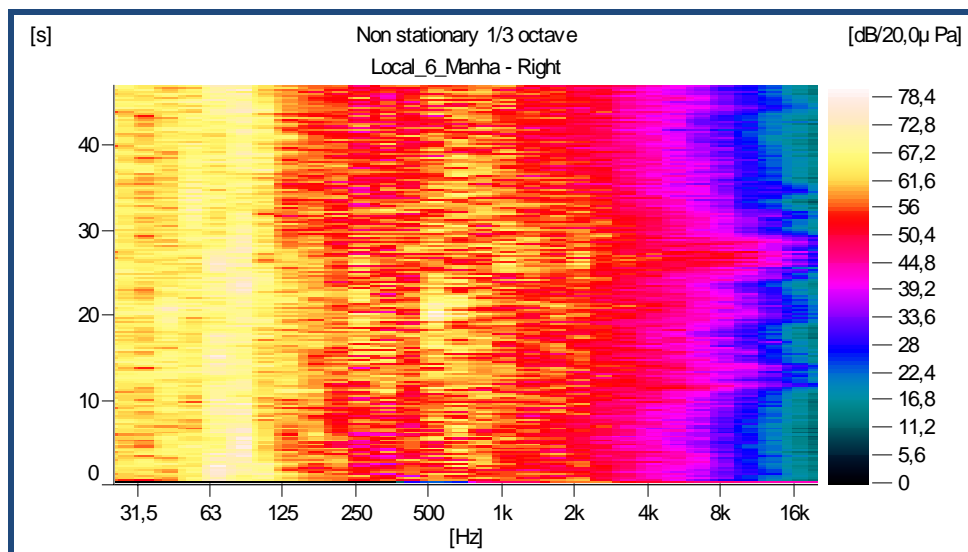


Figura 4.41– Espectro de bandas de terço de oitava, no Local 6

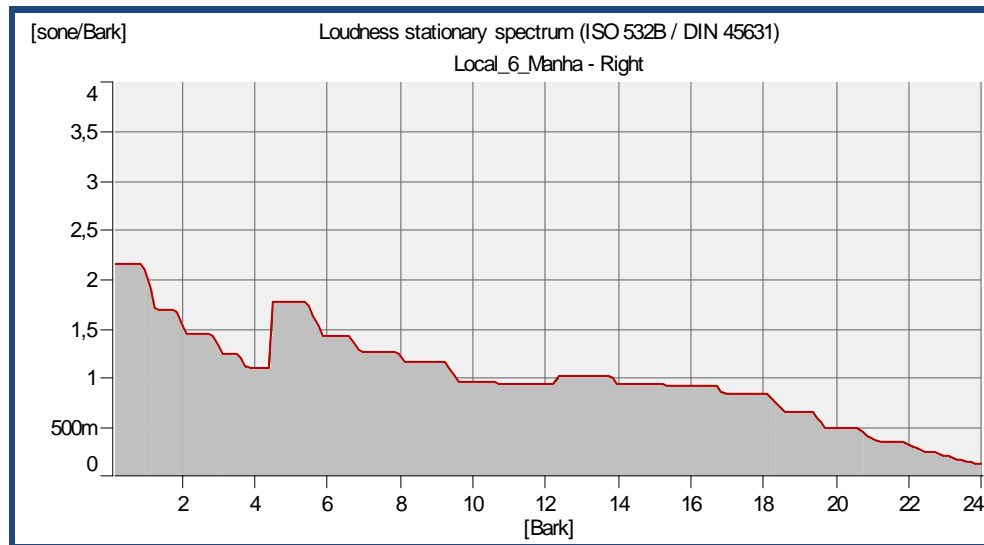


Figura 4.42– Espectro da *sensação de intensidade auditiva*, por banda crítica, no Local 6

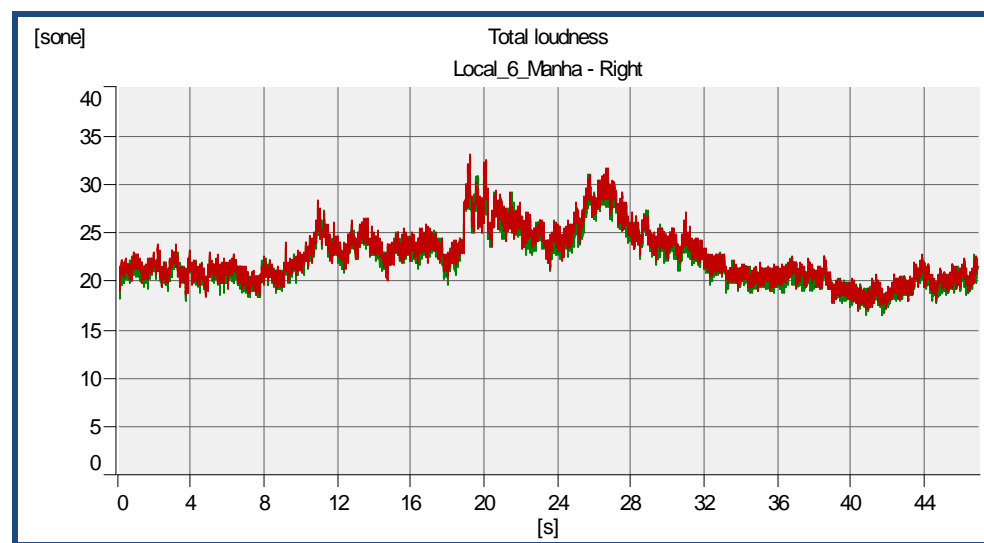


Figura 4.43– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, em função do tempo, no Local 6

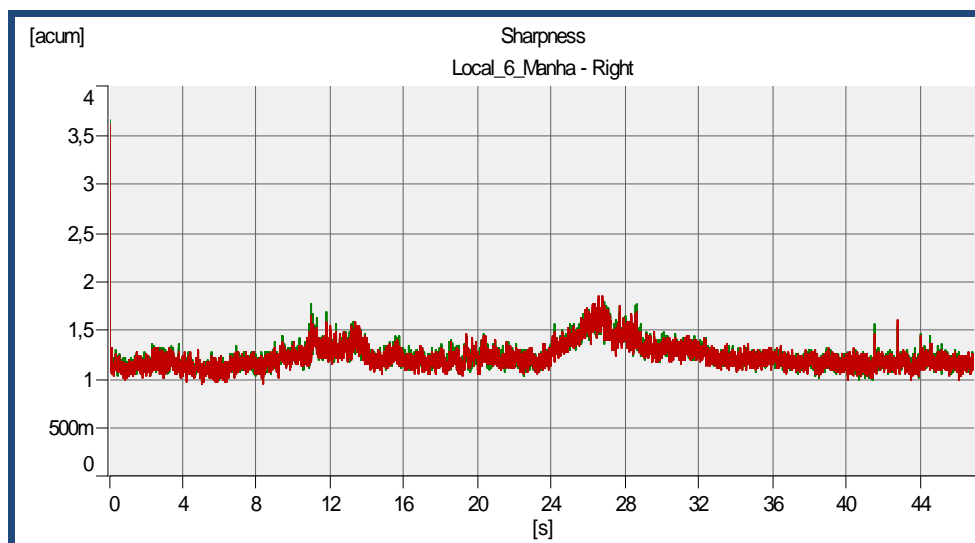


Figura 4.44– Espectro da *agudeza*, em função do tempo, no Local 6

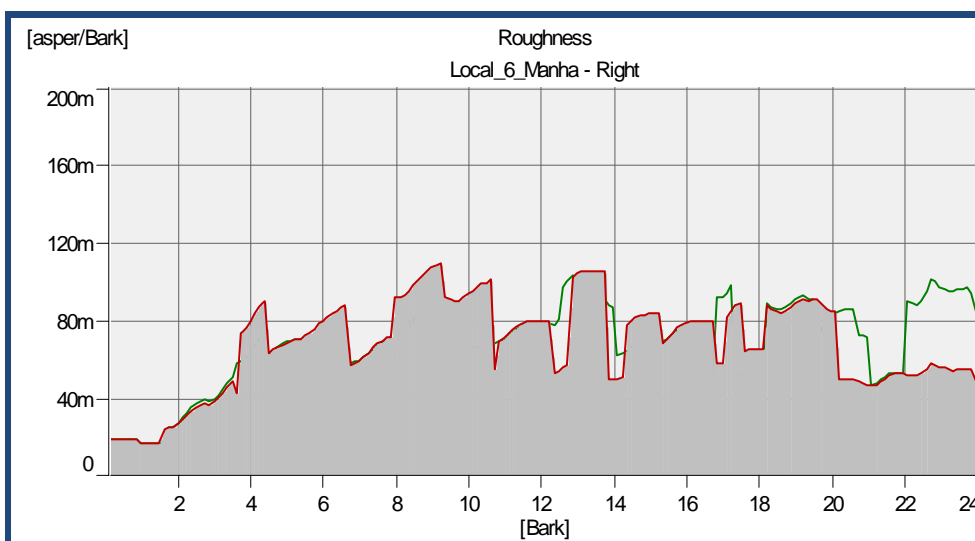


Figura 4.45– Espectro da *rugosidade*, por banda crítica, no Local 6

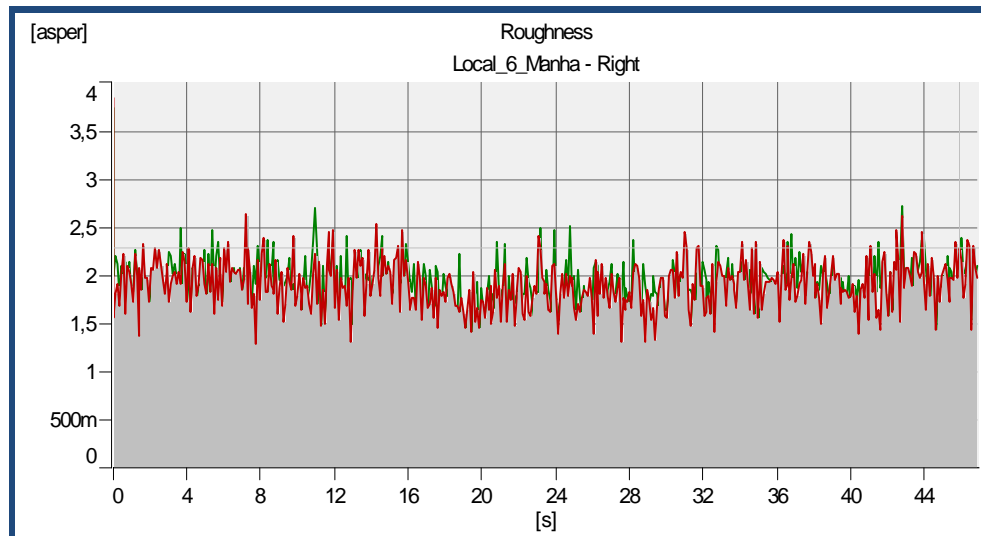


Figura 4.46– Espectro da *rugosidade*, em função do tempo, no Local 6

4.2.2.7 Síntese da caracterização dos locais de estudo

Na Tabela 4.1 apresenta-se uma síntese das características mais importantes associadas aos seis locais de estudo, seleccionados ao longo da VCI.

Tabela 4.1 – Características dos locais de estudo

Local 1 – Condomínio de São José	<p>Aglomerado habitacional com edifícios até 13 pisos, a uma distância média da VCI de 25 m. A disposição do edifício perpendicular à VCI. Principais sonoras são o tráfego rodoviário proveniente da VCI e acessos.</p> <p>Diurno 64 dB(A); Entardecer: 63 dB(A); Nocturno 60 dB(A), L_{den}: 67 dB(A) [Coba, 2007a]</p> <p>No espectro do ruído de tráfego rodoviário, são dominantes as componentes de baixa frequência (até 200 Hz), numa gama de variação que se estende essencialmente até aos 4000 Hz. Esta forte componente de baixa frequência, também é salientada no espectro de <i>sensação de intensidade auditiva</i>, por banda crítica, em que as bandas críticas de 2 e 4 Bark, aparecem destacadas das restantes.</p>
Local 2 – Bairro Social de Bessa Leite	<p>Aglomerado habitacional com edifícios até 4 pisos, à uma distância média da VCI de 25m. A disposição do edifício é paralela à via e com uma construção caracterizada por fachada única, e janelas simples e vidros com um único pano. Principais fontes de ruído são o tráfego rodoviário proveniente da VCI e dos respectivos acessos.</p> <p>Diurno 72 dB(A); Entardecer: 71 dB(A); Nocturno 68 dB(A), L_{den}: 75 dB(A) [Coba, 2007a]</p> <p>A intensidade associada às das bandas espectrais de baixa frequência é preponderante, quer no caso do espectro em bandas de terço de oitava, quer no caso do espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, devendo-se esse facto à passagem de veículos pesados.</p>

Tabela 4.1 – Características dos locais de estudo (cont.)

<p>Local 3 – Bairro do Foco</p>	<p>Aglomerado habitacional constituído por edifícios cujo número de pisos varia entre 13 e 20, localizando-se os prédios mais próximos da via a uma distância de 30 metros. Principais fontes sonoras são o tráfego rodoviário proveniente da VCI, da Avenida da Boavista, e das avenidas paralelas e vias locais. Diurno: 71 dB(A); Entardecer: 70 dB(A); Nocturno: 68 dB(A), Lden: 75 dB(A) [Coba, 2007a] A intensidade associada às das bandas espectrais de baixa frequência é preponderante, quer no caso do espectro em bandas de terço de oitava, quer no caso do espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica.</p>
<p>Local 4– Condomínios de São João Bosco e das Andrezas</p>	<p>Os edifícios que integram o Condomínio de São João Bosco têm cerca de 6 pisos e são caracterizados por possuírem fachadas, janelas e vidros simples. A distância média destes edifícios à VCI é de 30 metros. No entanto, as fracções mais próximas encontram-se a uma distância de 15 metros. Os edifícios que integram o condomínio fechado das Andrezas, têm cerca de 12 pisos. Possuem por construção, fachadas duplas, assim como janelas com vidro duplo. As fracções mais próximas da VCI que integram este condomínio estão a uma distância de 25 metros. As principais fontes sonoras são o tráfego rodoviário proveniente da VCI, Avenida Paralela, e vias locais. Diurno: 70 dB(A); Entardecer: 69 dB(A); Nocturno: 67 dB(A), Lden: 74 dB(A) [Coba, 2007a] A intensidade associada às bandas espectrais de baixa frequência é preponderante. No que respeita às componentes de alta frequência, a respectiva evolução no tempo é muito idêntica ao apresentado nos locais anteriores.</p>
<p>Local 5 – Bairro Cooperativa da Prelada</p>	<p>É constituído por edifícios com 13 pisos, com orientações relativamente à VCI variadas. Por construção as fachadas são simples, e os edifícios mais próximos da via estão a uma distância de 25 metros. As principais fontes sonoras são o de tráfego proveniente da VCI e respectivos acessos. Refira-se que nesta zona existe um sistema de controlo de velocidade por radar (com a limitação de velocidade para 90 km/h). Diurno: 74 dB(A); Nocturno: 70 dB(A), [Impacte Sonoro, 2004] A intensidade associada às das bandas espectrais de baixa frequência é preponderante. No que respeita às componentes de alta frequência, a respectiva evolução no tempo é muito idêntica aos locais anteriores.</p>
<p>Local 6 – Bairro Central de Francos</p>	<p>Aglomerado habitacional até 3 pisos, os edifícios mais próximos estão a uma distância de 10 metros). Esta zona apresenta a particularidade de se localizar no topo de um talude relativamente à VCI. As principais fontes sonoras são o tráfego rodoviário proveniente da VCI, e respectivos acessos. Diurno: 75 dB(A); Nocturno: 71 dB(A), [Impacte Sonoro, 2004] A intensidade associada às das bandas espectrais de baixa frequência é preponderante. No que respeita às componentes de alta frequência, a respectiva evolução no tempo é muito idêntica à dos locais anteriores.</p>

4.3 Medidas de minimização existentes e preconizadas

4.3.1 Medidas de minimização de ruído existentes na VCI

No segundo semestre de 2004, o pavimento rodoviário entre o Nó de Francos e o Nó do Outeiro foi alterado, tendo-se introduzido um pavimento com características de redução de ruído (pavimento drenante). Embora a principal finalidade não seja a minimização do ruído, estão actualmente em funcionamento na VCI sistemas de controlo de velocidade, mediante radar, que estimulam a prática de velocidades de circulação mais reduzidas, restringindo a respectiva velocidade para 90 km por hora. Este modo de condução, a uma velocidade mais reduzida, tem como efeito indirecto uma ligeira redução dos níveis sonoros. Num artigo publicado no Jornal de Notícias *online*, em 11 de Setembro de 2004, intitulado: “Radares reduziram a velocidade e o ruído na VCI”, (que pode ser consultado em http://www.jn.pt/paginainicial/interior.aspx?content_id=459548), refere-se que a introdução destes dispositivos, para além da redução dos acidentes, introduziu uma diminuição dos níveis sonoros, que chegou a atingir, em alguns locais, 7 dB(A). Dentre os casos de estudo seleccionados neste trabalho, só na proximidade do Local 5 (Bairro da Cooperativa da Prelada), existe um destes sistemas de limitação de velocidade (como se pode ver Figura 4.32(a)). Nas visitas efectuadas ao local constatou-se que, nesta zona, as velocidades de circulação dos veículos são significativamente inferiores às dos outros locais de estudo.

4.3.2 Medidas preconizadas nos estudos de impacte ambiental

O Instituto de Estradas de Portugal lançou um concurso público, em Abril de 2005, para analisar as medidas de minimização de ruído para a VCI (do qual resultou o estudo Coba, 2007), incidindo particularmente na zona entre a Ponte da Arrábida e o Nó de Francos. Em finais de 2008, a responsabilidade pela aplicação de medidas de minimização de ruído passou a ser da concessão Douro Litoral, que integra a VCI.

O estudo de impacte ambiental, na fase de estudo prévio, realizado por [Coba, 2007a], determina a construção de barreiras acústicas em praticamente todo o lanço da VCI/IC23, com uma altura de 5 m. Tendo em conta a altura das barreiras preconizada e a estrutura urbana das zonas em causa, o referido estudo recomenda também uma análise mais detalhada desta solução, tendo em conta os aspectos de integração paisagística relacionados com as barreiras acústicas, de modo a atenuar o impacte visual que poderá estar associado à sua implementação. Segundo o estudo, a construção de barreiras acústicas ao longo do lanço da VCI/IC23, por forma a minimizar o ruído, irá provocar um efeito de “trincheira” nos utentes da estrada, fechando a percepção visual da envolvente paisagística. Este facto assume-se como um aspecto importante, tendo em conta as reacções das populações à construção de barreiras acústicas desencadeadas na altura da construção das primeiras barreiras. Efectivamente, um artigo publicado no Diário de Notícias, em 27 de Abril de 2010 (http://www.dn.pt/dn.pt/Inicio/interior.aspx?content_id=1554735, intitulado: “Moradores da Avenida de D. João II contestam barreiras acústicas na VCI”), relata que os moradores da Avenida D. João promoveram um abaixo assinado contestando a instalação de barreiras acústicas na zona.

De acordo com o estudo de impacte ambiental [Coba, 2007a e Coba, 2007b], as barreiras acústicas a adoptar deveriam ser do tipo painéis metálicos absorventes, de modo a reduzir os níveis de ruído obtidos pelo modelo de previsão. Neste tipo de barreiras, as alternativas em termos de solução de integração são muito limitadas, podendo-se apenas jogar com a combinação e disposição de cores e seleccionar a modulação mais adequada ou que melhor se adapte à envolvente em questão. Pontualmente, em casos em que não esteja comprometida a função da barreira, poderão ser introduzidos alguns painéis transparentes em substituição dos metálicos, por forma a minimizar os efeitos de sombreamento, em particular nas situações que se encontram muito próximos dos edifícios. Nos locais em que a disponibilidade de espaço o permitir, o enquadramento estético das barreiras acústicas deverá ser complementado com estruturas verdes plantadas no tardo das mesmas.

Tendo em conta os valores elevados dos níveis sonoros estabelecidos, o estudo de impacte ambiental recomendava ainda a implementação de um pavimento com características absorventes sonoras em toda a extensão do troço da VCI entre a Ponte

da Arrábida e o Nó de Francos, devido à expectável insuficiente eficácia das barreiras acústicas.

O referido estudo também recomendava a implementação de um maior número de radares na VCI, completando toda a extensão desta, de modo a originar uma maior uniformização das velocidades praticadas e uma velocidade média menor.

Por último, tendo em conta a impossibilidade económica e física da utilização de barreiras acústicas usuais para a redução do ruído nos pisos mais elevados dos edifícios afectados, o estudo citado também recomenda o reforço do isolamento sonoro das fachadas, nesses pisos, pelo menos nos edifícios em que o índice de isolamento sonoro de fachada seja inferior a 36 dB.

4.4 Inquéritos piloto efectuados

4.4.1 Estruturação do guião da entrevista piloto

Com a finalidade de efectuar uma avaliação prévia da percepção do ruído existente nas proximidades da via rodoviária em estudo, foram realizadas algumas entrevistas semi-estruturadas, de resposta aberta, aos habitantes de edifícios localizados nos casos de estudo e distribuído um questionário para preenchimento. O objectivo desta entrevistas e do questionário piloto, era a consolidação das questões a serem integradas no questionário que viria a ser realizado posteriormente, no mesmo local, sobre as medidas de minimização de ruído.

O guião utilizado para a entrevista piloto abrange aspectos relacionados com a habitação, designadamente o contentamento relativamente à residência, envolvente exterior e respectiva exposição sonora, assim como características temporais associadas a esta exposição. Pretendia-se também aferir a percepção dos habitantes relativamente ao ruído de tráfego rodoviário e às medidas de minimização de ruído que entretanto foram implementadas, assim como avaliar a existência de eventuais expectativas ou de pré-concepções relativamente a estes dispositivos.

As entrevistas tiveram ainda como objectivo a identificação dos sons percebidos como mais incomodativos, bem como o levantamento do historial de implementação das respectivas zonas residenciais. De facto, constatou-se que, em alguns dos locais estudados, o edificado foi construído muito antes do alargamento da VCI (edifícios com mais de 30 anos), enquanto que, noutros, o edificado é mais recente. Estas entrevistas, usualmente realizadas no interior das habitações, permitiram também o conhecimento da disposição dos compartimentos dentro do edifício, a identificação do tipo de janelas e a identificação da percepção de efeitos não directamente relacionados com o ruído, mas com o tráfego rodoviário, como, por exemplo, a poluição atmosférica, materializada na sujidade dos vãos envidraçados e na existência de poeiras, até ao nível do vigésimo andar. Em geral, nestas zonas antigas, a disposição dos compartimentos não é favorável em termos de exposição ao ruído, pois existem fracções com todos os compartimentos virados para a VCI, enquanto que noutras os compartimentos estão todos virados para a fachada mais sossegada. Um exemplo desta situação, é o que sucede no Bairro do Foco.

4.4.2 Estruturação do questionário

Tendo em conta os objectivos apresentados na secção anterior, o questionário realizado englobava uma primeira parte, que era preenchida pelo entrevistador, e em que se identificava a compartimentação da fracção em estudo e se registavam os níveis sonoros quer no exterior, quer no interior da habitação. De seguida, foram colocadas questões relativamente à residência (agradabilidade, grau de contentamento e períodos do dia de permanência na residência), questões relativamente à incomodidade induzida pelo ruído de tráfego rodoviário (questão normalizada para estudos sócio acústicos, de acordo com a norma ISO/TS 15666) e questões relativamente à percepção sonora de passagens de diferentes tipos de veículos que compõem o tráfego rodoviário. O questionário finalizava com o preenchimento de dados pessoais (tais como género, idade, nível de escolaridade e rendimento familiar). O Anexo 3 apresenta o guião para as entrevistas abertas e o modelo de inquérito piloto realizado.

4.4.3 Percepção do ambiente sonoro pelos residentes próximo da VCI

Apresenta-se de seguida um resumo comentado dos trechos mais significativos das 4 entrevistas semi-estruturadas realizadas. A transcrição completa de cada entrevista consta no Anexo 4.

Entrevista a um morador no Bairro do Foco, cuja habitação tem todos os compartimentos orientados para a fachada mais sossegada, virados para um jardim (entrevista 01):

- O inquirido em questão habita uma fracção com todos os compartimentos localizados na fachada mais sossegada e que dá directamente para uma zona de jardim. Quando questionado sobre o grau de contentamento relativamente à sua residência, afirma que:

“ Eu gosto de viver aqui nesta zona. Sinceramente, acho que esta zona, é uma das melhores zonas do Porto para viver. Pontualmente, no silêncio da noite. As duas três da manhã, se não estiver a dormir, ouve-se qualquer coisinha, mas nada que tire o sono, dentro de casa. No exterior da minha habitação, se estiver no jardim, é óptimo, não se ouve barulho.”

Tal como a maior parte dos inquiridos, quando questionados sobre o sons dos diversos tipos de veículos que integram o ruído de tráfego rodoviário, é de salientar o grande descontentamento relativamente ao ruído de escape produzido por motorizadas, referindo que:

“ O som das motorizadas irrita-me mais. ... Por exemplo, se for uma mota mesmo mota, de cilindrada alta, até gosto de ouvir o barulho. Se calhar, incomoda-me mais aquelas motinhas pequeninas, sabe, principalmente quando os escapes estão alterados.”

Ainda no mesmo prédio, foi possível entrevistar um morador, cuja habitação tem todos os compartimentos orientados para a VCI (entrevista 03), em cuja resposta, relativamente ao grau de contentamento com a sua residência, é saliente a influência do ruído de tráfego rodoviário:

“ Eu vivo num dos melhores locais da cidade do Porto, que é designada pela zona do Foco, e o prédio é excelente, apesar de ter 35 anos. O inconveniente é estar localizado próximo da VCI, a auto-estrada, Porto-Lisboa. Habito nesta casa há 15 anos, o próprio ruído já faz parte da minha vida, embora eu seja alérgico ao ruído, mas, ao fim de 15

*anos, o ruído já faz parte da minha vida, e já não tenho tantos problemas como tinha.(...)
O ruído das motas e dos veículos pesados quando buzina é bastante incomodativo.”*

No que respeita às medidas implementadas, é de salientar a influência benéfica da introdução de radares, designadamente na melhoria das condições de circulação nesta via, com a redução de acidentes e também a consequente diminuição dos níveis sonoros. *“Verificou-se uma ligeira atenuação do ruído com a instalação dos radares e concomitantemente com a colocação do revestimento de piso com características anti-ruído que o IEP efectuou. Tenho pena que não existam mais radares em locais mais estratégicos, como, por exemplo, aqui mais próximo desta curva. Os radares fazem com que a velocidade de circulação dos veículos não seja tão elevada e, como tal, o ruído. Não há duvida nenhuma, diminuiu bastante, talvez aí uns 20%, em relação ao passado. Mas continuo a notar todo este barulho ensurdecedor, sobretudo de motas e camiões ou pior ainda, de carros em alta velocidade”. (...) “O ruído durante a noite e nos fins-de-semana é totalmente diferente. Nas horas de ponta, não existe barulho, existe sim é condicionamento de trânsito. Quando existem filas, o barulho é mais atenuado. Esse é outro dos graves problemas desta auto-estrada. Não existem tantos desastres como antigamente. A colocação dos radares foi benéfica. Antes dos radares, existiam constantemente acidentes e a auto-estrada estava completamente bloqueada.”*

Um outro aspecto que ficou saliente nesta entrevista e que se detectou em todas as outras entrevistas, cujos inquiridos residiam em fracções que davam directamente para a VCI, independentemente do piso onde habitavam (até mesmo no 19º piso), está relacionado com a poluição atmosférica. O inquirido afirma que :

“ A consequência de toda a poluição dos pneus, dos fumos, é terrível. Os vidros das janelas e as varandas têm de ser limpas constantemente. Deve ser uma das piores zonas de poluição. Se fizerem uma medição, deve ser uma das piores do país. Aliás, parece que é. Segundo li na comunicação social, a pior é a Avenida da Liberdade, em Lisboa, e esta aqui não deve andar longe disso.”

No que respeita a variações sazonais do ruído de tráfego rodoviário é interessante notar que, no Verão, os valores dos níveis sonoros são apercebidos com uma ligeira diminuição, facto que foi associado à estrutura arbórea da envolvente. E, decorrente desta associação, verificou-se a existência de um relacionamento entre a plantação de árvores para a redução do ruído:

“(...) Só me apercebo quando existe mais movimento. É engraçado que, no Verão, as árvores estão todas cheias de folhas e atenuam o ruído. No Inverno, o som propaga-se com mais facilidade.”(....) “Eu, pessoalmente, acho que com taludes de plantação de arvoredos ou então com as barreiras acústicas. Mas, para mim, sobretudo entre a Ponte da Arrábida e este local, se a obra não for cara, a solução era o tapamento em túnel da VCI, aproveitando a parte superior com jardim, até porque existe altura suficiente.”

No que respeita a moradores de bairros sociais, verificou-se a existência de outros problemas, como, por exemplo, um deficiente isolamento sonoro (a sons aéreos e de percussão) entre compartimentos. Facto este mais saliente num morador no Bairro de Francos, cuja habitação não tem nenhum compartimento orientado para a VCI (entrevista 02):

“O isolamento sonoro é deficiente, ouve-se tudo, os passos, o mudar os móveis, o apoiar uma cadeira. Ouve-se tudo”.

Neste caso, o indivíduo praticamente não se sentia incomodado com o ruído de tráfego rodoviário proveniente da VCI, dado a orientação da sua habitação. No entanto refere que:

“Por exemplo, às vezes ouve-se o passar de veículos pesados e as respectivas buzinas, mas não é permanente, já estou habituado, a mim não me incomoda. Provavelmente, a estas pessoas (as que estão directamente voltadas para a VCI) e às pessoas idosas, esta situação (a passagem de veículos pesados) e as respectivas buzinas, talvez incomode quando querem descansar, mas a mim não.”

Quando questionado sobre medidas de minimização de ruído, este inquirido aponta como solução a introdução de vidros duplos ou a colocação de barreiras acústicas, caso este tipo de medida “corte” o ruído. No entanto, quando confrontado com a possibilidade de este tipo de medida (barreira acústica) provocar a obstrução da paisagem e o sombreamento das habitações, opta pela introdução de vidros duplos:

“(...) ou os vidros duplos ou então aquelas barreiras se efectivamente cortar o ruído.”... “Então é preferível a introdução de vidros duplos”.

Por outro lado, na entrevista a uma moradora no bairro social Bessa Leite, cuja habitação tem a sala, um quarto e a cozinha orientados para a VCI (entrevista 04), os problemas da incomodidade induzida pelo ruído são significativos, levando à introdução de janelas duplas, por parte desta moradora:

“ É um ruído de que já estamos habituados a ele. Dado que vivemos em casas que estão viradas para a VCI. Moro no 3 andar e já coloquei janelas duplas. Eu e todos os vizinhos temos salas e cozinhas viradas para a VCI. Este edifício é todo igual.” (...) “ Por causa do ruído, fui obrigada a colocar janelas duplas, pois não podia com o barulho. Já nos habituamos um pouco, mas, quando viemos para aqui, o barulho era ensurdecedor. Nessa altura, a VCI tinha duas vias e agora tem três, mais a via de acesso. Isto incomoda bastante. Toda a gente se queixa, dos carros, do barulho. É muito barulho”.

Esta inquirida está igualmente muito ciente dos problemas de poluição atmosférica associados à circulação rodoviária na VCI, tal como aponta:

“ Outra situação que noto é a poluição do ar. Já mudei muitas vezes de cortinas. As vezes até cheiram mal. Evito abrir as janelas. Só abro a janela da marquise um bocadinho. Já mudei as cortinas muitas vezes e, quando as lavo e tiro da água, a água fica muito negra por causa da poluição. Lavo-as várias vezes e quando penso no ar em que respiramos fico muito incomodada.”

Capítulo 5: Desenvolvimento de um inquérito para a avaliação da percepção de medidas de minimização de ruído

5.1 Introdução

O desenvolvimento de um inquérito para a avaliação da percepção das medidas de minimização de ruído envolveu, numa primeira fase, a realização de um inquérito piloto, em que foi recolhida informação, a partir de uma entrevista semi-estruturada e de resposta aberta, para a avaliação da percepção que os indivíduos têm face ao ruído de tráfego rodoviário. Numa segunda etapa, tendo em conta os dados recolhidos, foram efectuadas sessões de audição de vários estratos de ruído de tráfego, com a finalidade de avaliar a estrutura cognitiva dos indivíduos face aos sons produzidos pelas diversas fontes que originam o ruído de tráfego urbano. Este inquérito integrou a recolha de registos binaurais para um conjunto de 12 sons seleccionados. A terceira etapa deste estudo iniciou-se com a realização de visitas de campo, onde foi possível gravar registos áudio e realizar medições dos níveis sonoros, tendo em conta as diferentes medidas de minimização de ruído, existentes em Portugal. Para o efeito, foram realizadas visitas, às seguintes auto-estradas:

- A24/ IP3, lanços Vila Real-Régua (IP4)/Falperra-Pedras Salgadas/Pedras Salgadas;
- EN103 e EN103- Chaves (Fronteira);
- A27/ IP9, lanços Nogueira-Estorãos e Estorãos-Ponte de Lima;
- A7, lanços Calvos- Fafe Sul/ Fafe-Ribeira da Pena/ Ribeira da Pena-Vila Pouca de Aguiar;
- A11, lanços Braga-Guimarães, Felgueiras- Lousada;
- A22/IC4, lanços Guia-Alcantarilha e Lagoa-Lagos,
- A5, lanço Lisboa-Estoril.

Também foram realizadas visitas e recolhidos registos áudio da passagem de um veículo ligeiro, a velocidades diferentes (da marca Ford e modelo Focus, a gasóleo), no pavimento do viaduto sobre a Avenida Padre Cruz, em Lisboa, integrado no eixo Norte-

Sul, que na altura se encontrava em fase de finalização da respectiva obra de construção.

Os registos áudio recolhidos foram analisados e seguidamente processados, de modo a remover efeitos de natureza não acústica, como a influência do vento e os sons não directamente relacionados com os aspectos em estudo. De seguida, procedeu-se a uma selecção da qualidade dos registos assim obtidos, de modo a ser possível a sua integração no inquérito final sobre a avaliação das medidas de minimização de ruído, que ocorreu em habitações localizadas entre a zona do Campo Alegre e da Prelada, no Porto, mais especificamente nos locais 1 a 6 referenciados no capítulo 4.

5.2 Avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de ruído de tráfego presentes em zonas urbanas

5.2.1 Introdução

O estudo do “significado” compreende duas correntes principais: o estudo do “significado denotativo”, e o estudo do “significado intencional” ou “conotativo”. O significado denotativo diz respeito ao mundo da realidade, ao objecto ao qual se refere e que pode ser compreendido como as suas dimensões incontestáveis, sendo uma tradução do significado objectivo. O significado conotativo por sua vez, articula-se com a expressão de valores subjectivos relativos ao objecto, sofrendo influência directa de factores psicológicos e sociais. Os dois termos, denotação e conotação, constituem modos fundamentais e opostos do processo de significação. Geralmente, reconhece-se que as atitudes podem ser observadas a nível cognitivo, por meio de declarações verbais de crenças a nível comportamental, por acções afectivas e declarações verbais relativas a acções, e, a nível afectivo propriamente dito, através de respostas do sistema nervoso simpático e declarações verbais de cunho afectivo.

O grande interesse em estudar as atitudes reside na possibilidade de prever o comportamento a partir delas. Para que isso seja viável, é necessário que a medida de atitude seja tão específica quanto o comportamento com o qual se busca uma relação.

O diferencial semântico (DS) é uma técnica de exploração desenvolvida por [Osgood, 1952], com o objectivo de classificar os aspectos relacionados com o significado conotativo de um determinado objecto ou conceito. Saliente-se que os aspectos conotativos do significado se relacionam com os factores emotivos, afectivos, sensações ou estados de espírito induzidos por uma palavra. A fim de se atingir o objectivo pretendido, para cada conceito em análise, são utilizadas escalas de sete pontos, cujas extremidades são ancoradas por um par de adjectivos antónimos, com a alternativa neutro localizada no centro. A classificação do entrevistado é a soma das classificações em todas as escalas para cada conceito sujeito a avaliação. A hipótese de base desta técnica estabelece que as percepções do ambiente exterior não reflectem somente as condições físicas e fisiológicas, sendo também influenciadas por conhecimento não consciente, transmitido, por exemplo, na forma de significado, e supondo-se que o significado pode determinar o comportamento, de modo idêntico aos parâmetros físicos. Para todos os tipos de conceito, assume-se igualmente que a linguagem representa um instrumento importante para descrever o significado, tomando [Osgood, 1952] como hipótese que os adjectivos estão intercalados entre as palavras e respectivo significado.

Usualmente, os objectos ou conceitos que se destinam à investigação por meio da técnica do diferencial semântico são localizados num espaço semântico, composto por um número de n dimensões, que representam o significado afectivo do objecto. No modelo espacial, pressupõe-se que o conceito se localiza num espaço com três dimensões (dimensões universais do conceito), designadas por avaliação, potência e actividade. Transpondo este modelo espacial de três dimensões do significado afectivo dos conceitos de natureza verbal, para os estudos em acústica, aparecem normalmente outras dimensões, normalmente mais duas ou três, relacionadas com a percepção do estímulo sonoro [Guski, 1997].

No presente estudo, foram utilizados como “objectos”, registos áudio de sons que integram o ruído de tráfego existentes em zonas urbanas, designadamente nas cidades de Lisboa e Porto. Para o efeito, foram seleccionados registos áudio associados aos seguintes eventos: passagem de um autocarro (Som 1); passagem de um avião (Som 2); passagem de um comboio (Som 3); ruído de tráfego rodoviário na VCI (Som 4); passagem de um eléctrico antigo em Lisboa (Som 5); ruído de tráfego numa zona aberta (sem a existência de reflexões na sua proximidade) da cidade de Lisboa, designadamente no Cais de Sodré (Som 6); passagem de um motociclo, para o qual o

ruído de escape é significativo (Som 7); ruído de tráfego na segunda circular, em Lisboa, próximo da zona de Telheiras (Som 8); ruído de tráfego na Rua do Ouro, em Lisboa (Som 9); passagem do metro de superfície do Porto (Som 10), passagem de um eléctrico moderno, em Lisboa (Som 11); e passagem de um motociclo com dispositivo de redução de ruído de escape (Som 12).

5.2.2 Caracterização física e psicoacústica dos estímulos sonoros seleccionados

Para cada um dos 12 sons que constituíram esta etapa do trabalho experimental, foram calculados parâmetros físicos e psicoacústicos. A análise, em termos físicos, englobou a determinação do espectro de ruído, em bandas de terço de oitava, e a medição do nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação A e linear. No que respeita aos parâmetros psicoacústicos, foram obtidos, para cada registo áudio, o correspondente espectro de evolução da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, o valor total da *sensação de intensidade auditiva* em função do tempo, a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza* em função do tempo, a distribuição da *rugosidade* por banda crítica e respectiva evolução em função do tempo de modo análogo ao referido no Capítulo 4. Foram também determinados os parâmetros estatísticos associados à *sensação de intensidade auditiva* e *agudeza*, traduzidos pelos níveis percentil de 50%, 10% e 5%, que constam do Anexo 5.

As Figuras 5.1 a 5.39 apresentam, para cada registo áudio, os gráficos correspondentes ao espectro por bandas de terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, ao espectro de evolução da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica e ao espectro do valor total da *sensação de intensidade auditiva* em função do tempo, sendo também apresentados os espectros dos parâmetros psicoacústicos *agudeza* e *rugosidade*, em função do tempo e por banda crítica (no caso da *rugosidade*). Nos gráficos das figuras referenciadas, refira-se que a letra m representa a multiplicação da unidade em consideração pelo factor 10^{-3} .

No caso do Som 1 (passagem de um autocarro), correspondente na realidade à passagem de dois autocarros, como facilmente se verifica pela análise da evolução da *sensação de intensidade auditiva* total na Figura 5.3, o espectro do nível de pressão sonora por bandas de terços de oitava é dominado pelas componentes de baixa

frequência (até 250 Hz). Este facto também é visível pela análise do gráfico correspondente à *sensação de intensidade auditiva*, por banda crítica (vd. Figura 5.2), em que a intensidade correspondente à banda crítica de 1 Bark aparece destacada das restantes. Note-se também a importância da região compreendida entre as bandas de 6 e 10 Bark (entre 600 e 1000 Hz). Na Figura 5.3 é apresentado o espectro da *sensação de intensidade auditiva total*, o qual apresenta um valor médio aproximadamente igual a 20 sone. Nas Figuras 5.4 a 5.6, são apresentados os espectros dos parâmetros psicoacústicos *agudeza* (com um valor médio aproximadamente igual a 2 acum) e *rugosidade* (valor médio aproximadamente igual a 2,3 asper).

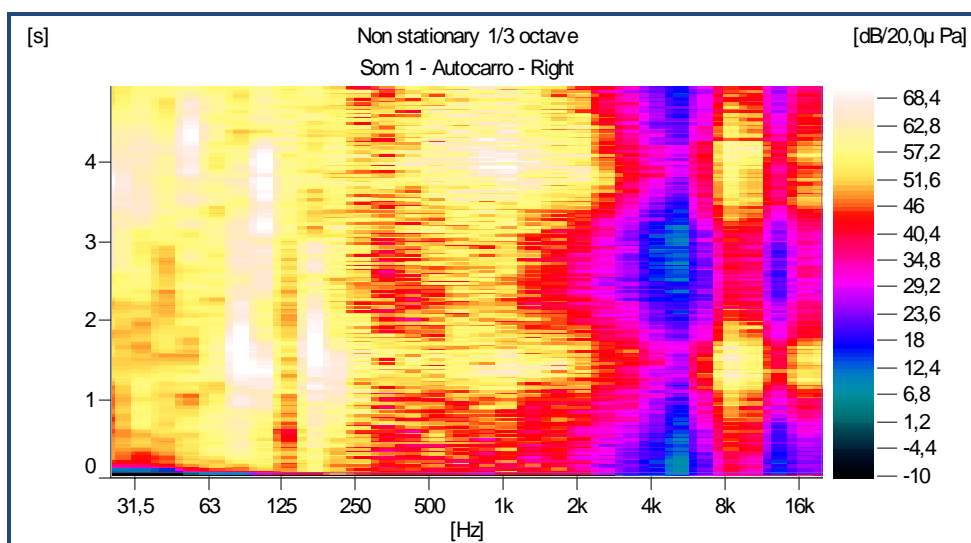


Figura 5.1 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 1 (Passagem de autocarro)

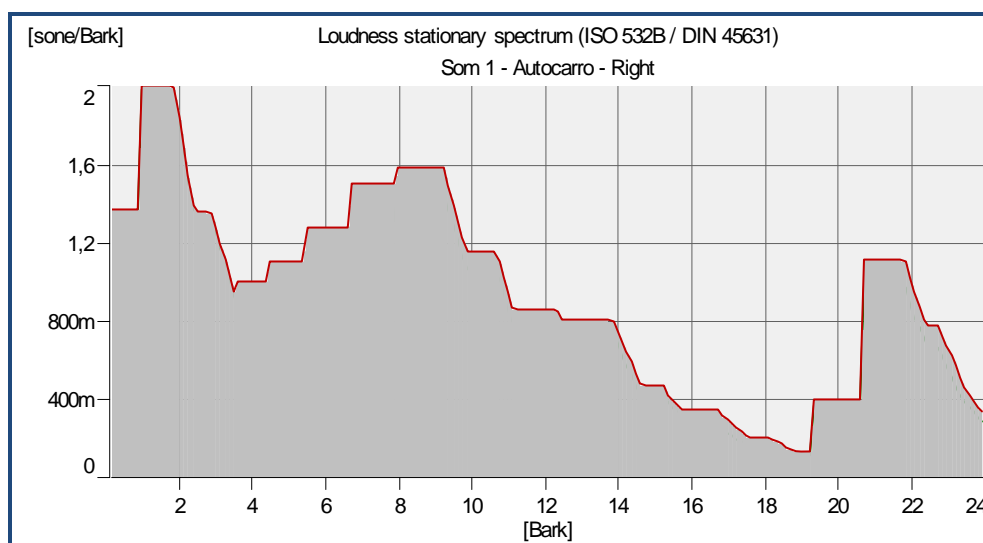


Figura 5.2 – Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica do Som 1 (Passagem de autocarro)

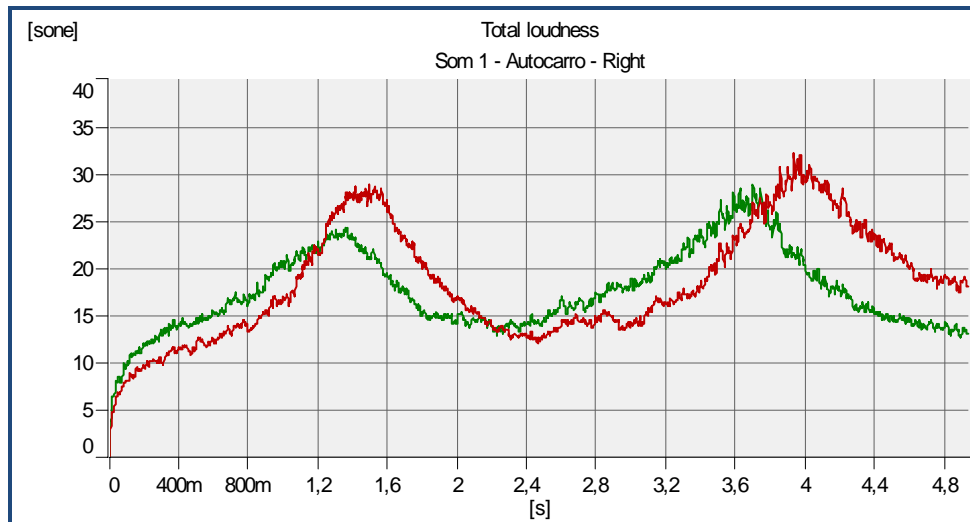


Figura 5.3 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 1 (Passagem de autocarro)

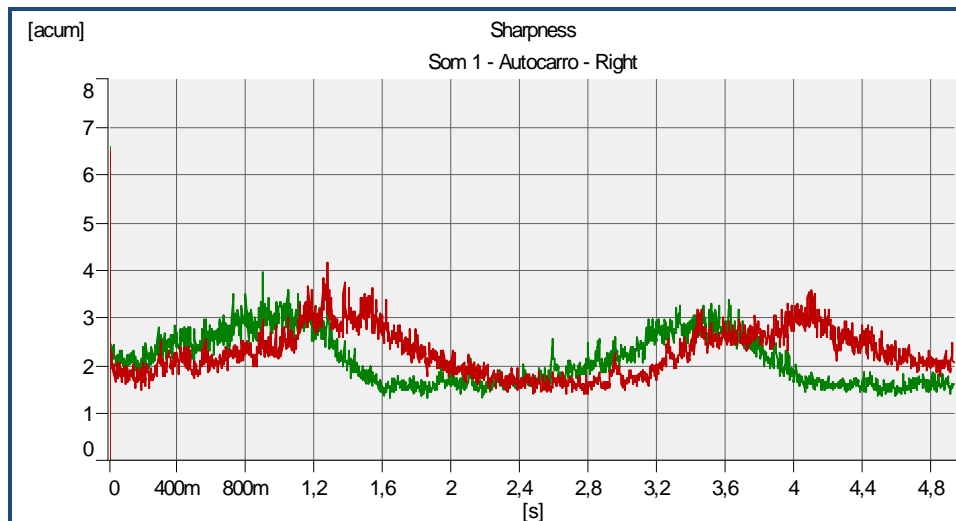


Figura 5.4 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 1 (Passagem de autocarro)

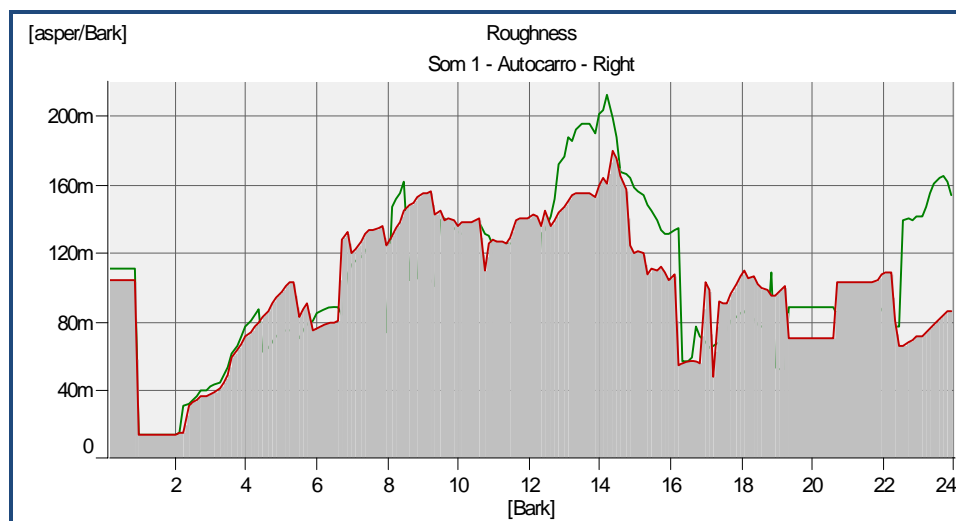


Figura 5.5 – Espectro da *rugosidade* por banda crítica do Som 1 (Passagem de autocarro)

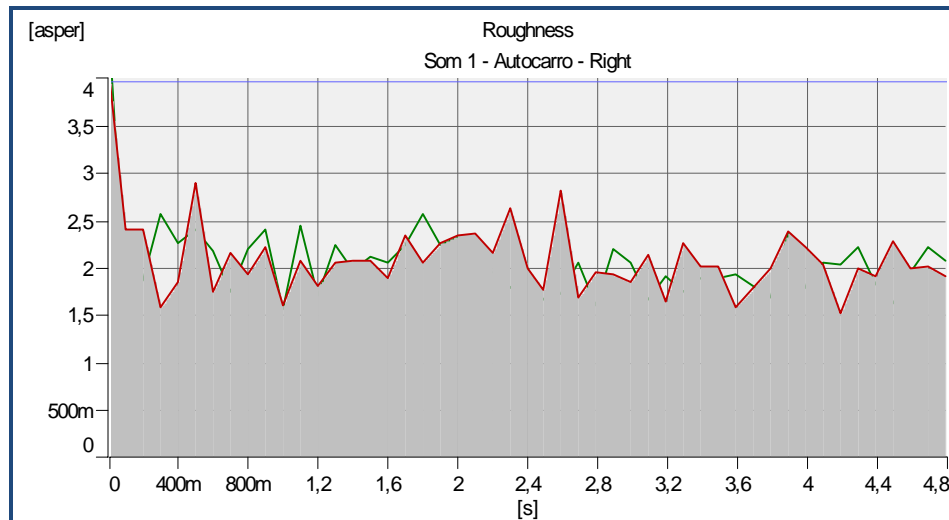


Figura 5.6 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 1 (Passagem de autocarro)

Relativamente ao Som 2 (passagem de um avião) o espectro em terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo é dominado pela gama das baixas e médias frequências (até aos 1250 Hz). No entanto, também existem componentes com intensidade mais elevada, na banda de terço de oitava centrada na frequência de 8000 Hz. Este facto também é visível no espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, em que se destacam as bandas de 3 Bark e no domínio das bandas mais elevadas, nomeadamente a banda de 21 Bark.

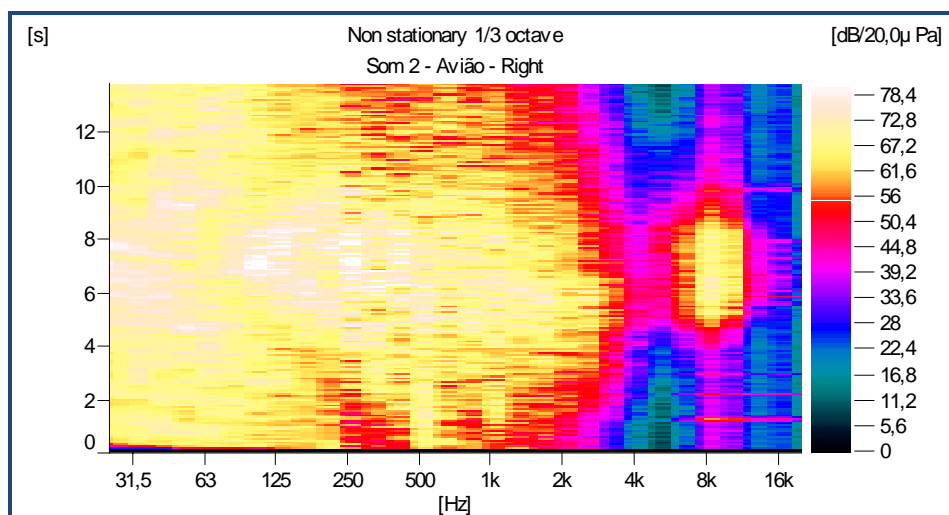


Figura 5.7 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 2 (Passagem de um avião)

A Figura 5.9 apresenta a evolução no tempo do espectro da sensação *de intensidade auditiva total*, relativo ao registo áudio da passagem do avião, e cujo valor médio é aproximadamente igual a 35 sone.

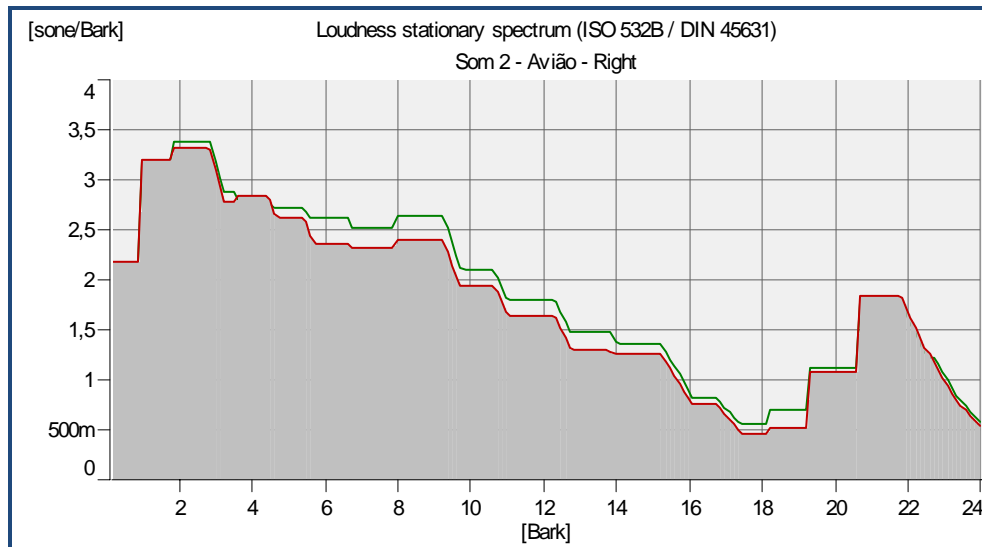


Figura 5.8 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 2 (Passagem de um avião)

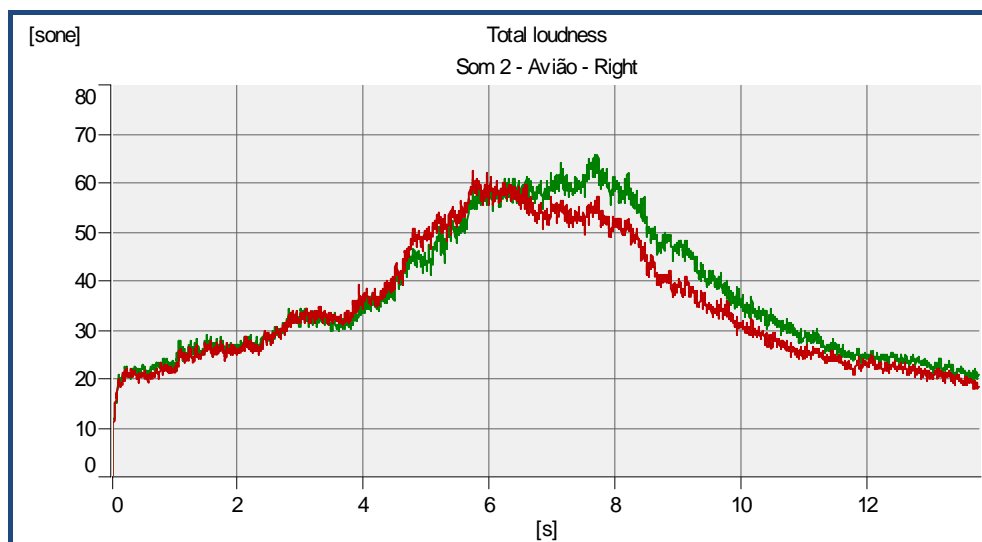


Figura 5.9 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 2 (Passagem de um avião)

A Figura 5.10 apresenta a evolução no tempo do parâmetro psicoacústico *agudeza*, cujo valor médio é aproximadamente igual a 2,4 acum, verificando-se uma contribuição significativa das componentes de frequência mais elevada e sendo igualmente de salientar a grande variação deste parâmetro, que chega a atingir valores da ordem dos 2 acum. Os gráficos da Figura 5.11 e 5.12 apresentam, respectivamente, a distribuição do

parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica, e a sua evolução em função do tempo, sendo o valor médio aproximadamente igual a 1,8 asper.

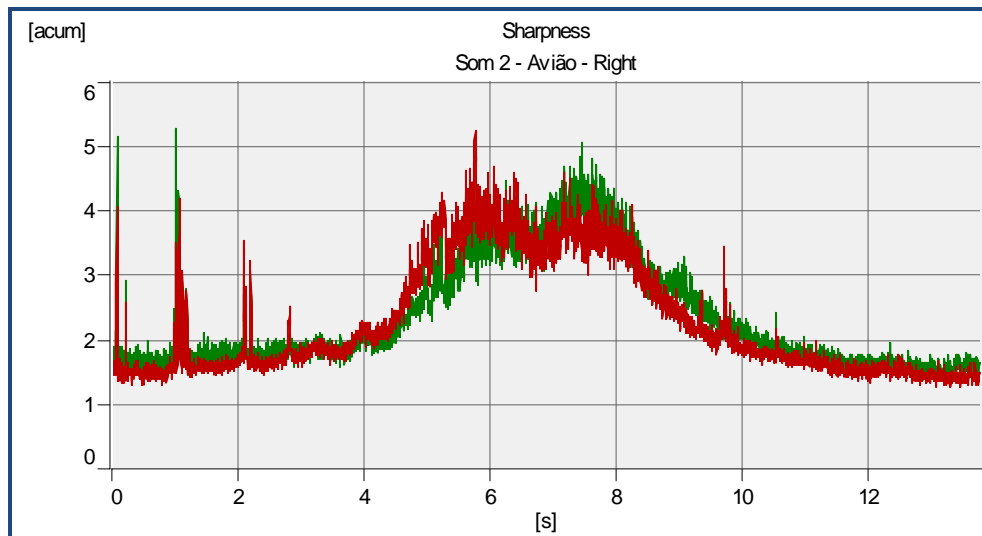


Figura 5.10 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 2 (Passagem de um avião)

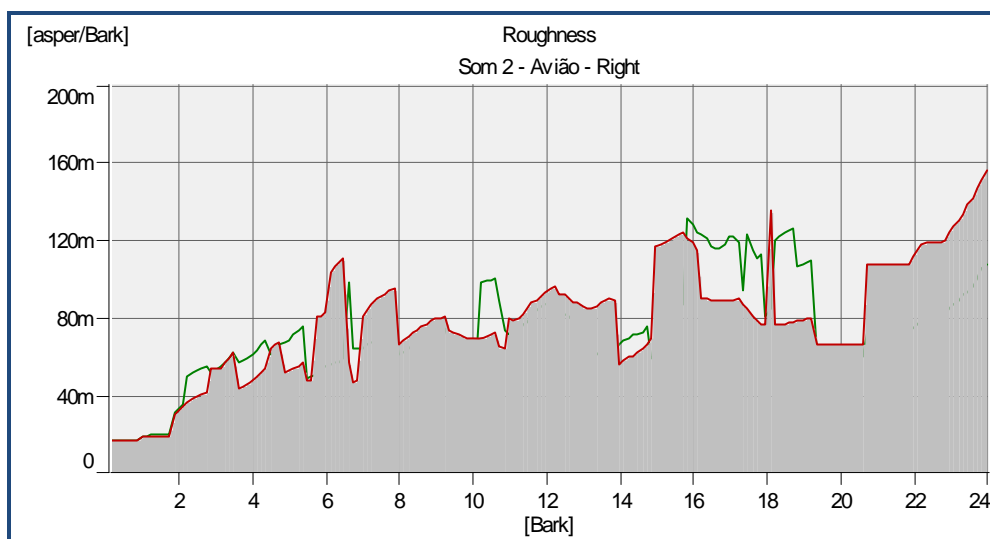
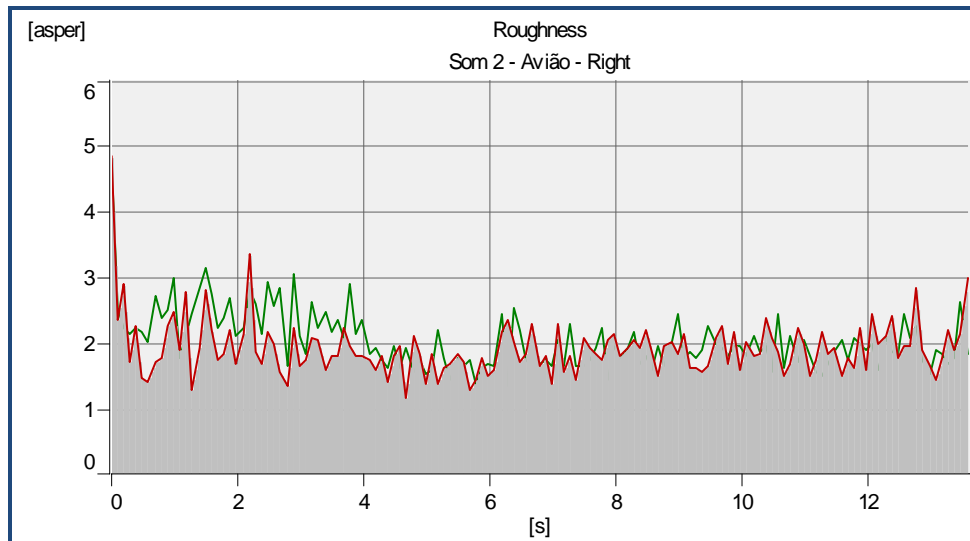


Figura 5.11 – Espectro da *rugosidade* por banda crítica do Som 2 (Passagem de um avião)

Figura 5.12 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 2 (Passagem de um avião)

Relativamente ao Som 3 (passagem de um comboio), o espectro em terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo é, tal como no caso anterior, dominado pela gama das baixas e médias frequências, existindo componentes na gama dos 8000 Hz, cuja intensidade é significativa (ver Figura 5.13). Este facto também é evidente no espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, em que se destacam as bandas de 3 Bark (ver Figura 5.14). Neste caso, a intensidade na banda de 21 Bark não é tão significativa.

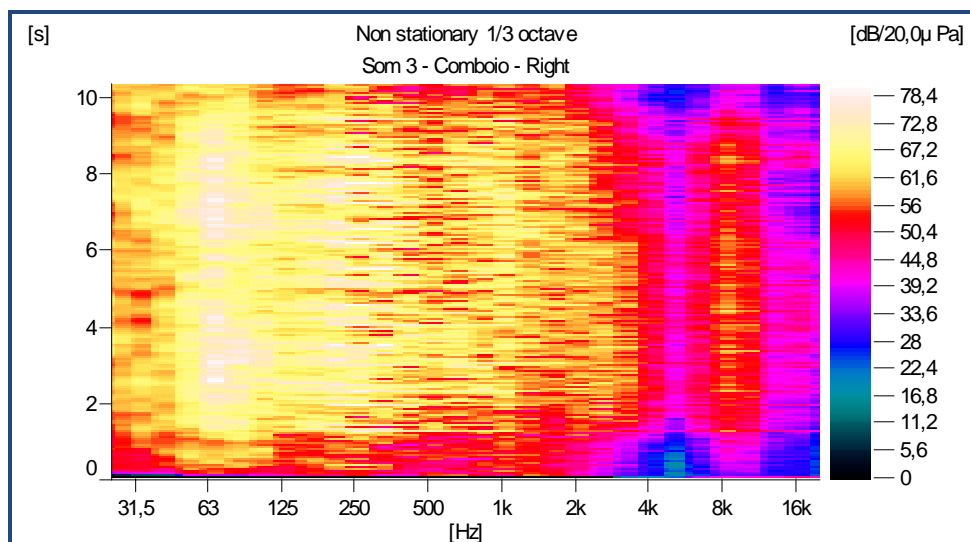


Figura 5.13 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 3 (Passagem de um comboio)

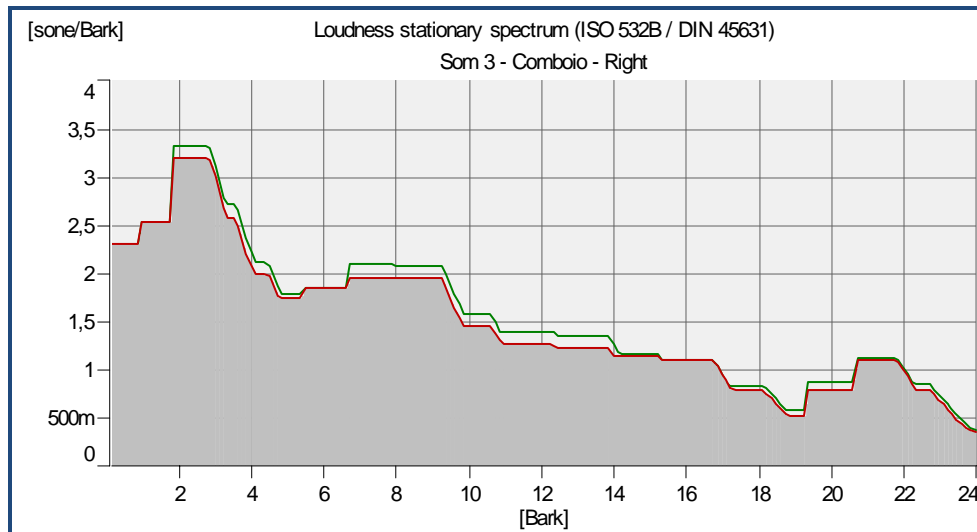


Figura 5.14 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 3 (Passagem de um comboio)

No que respeita à evolução da sensação de intensidade auditiva em função do tempo, o valor médio da passagem do comboio é aproximadamente igual a 31,7 sone, existindo, durante a passagem, oscilações deste parâmetro da ordem dos 10 sone. A Figura 5.16 apresenta a variação em função do tempo do parâmetro psicoacústico *agudeza*, a que corresponde um valor médio de 2,4 acum, enquanto que nos gráficos das Figuras 5.17 e 5.18 se apresenta, respectivamente, a distribuição do parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica e a correspondente evolução em função do tempo, a que corresponde um valor médio de 1,5 asper.

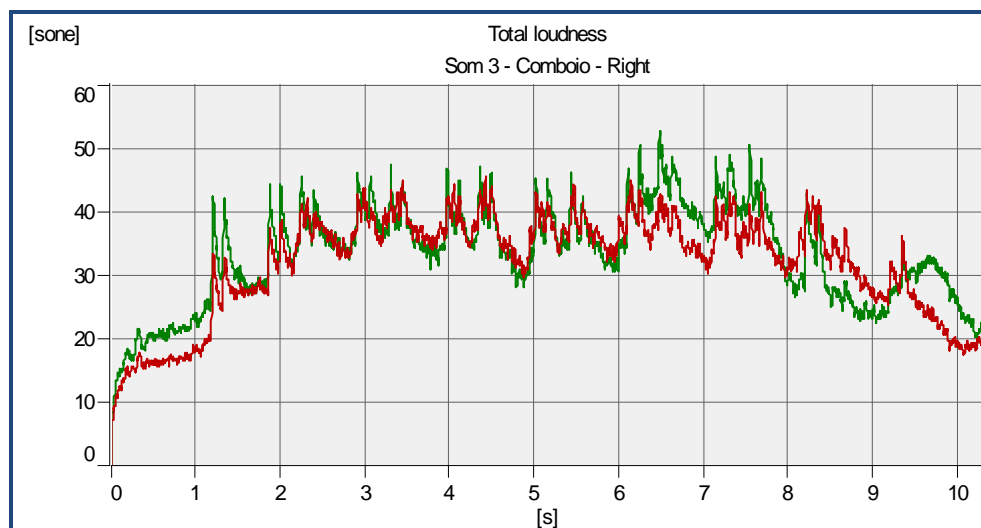


Figura 5.15 – Espectro da *sensação intensidade auditiva total* em função do tempo do Som 3 (Passagem de um comboio)

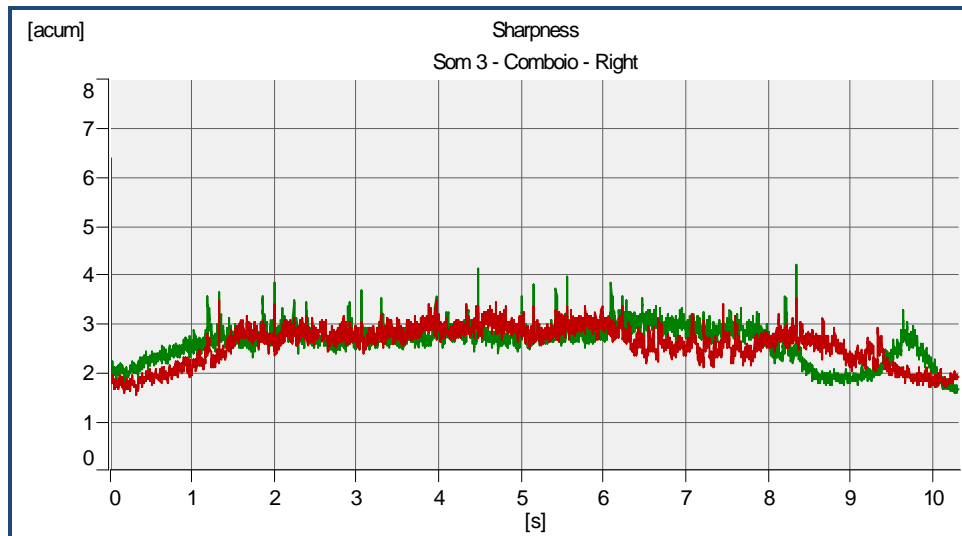


Figura 5.16 – Espectro da *sensação intensidade auditiva total* em função do tempo do Som 3 (Passagem de um comboio)

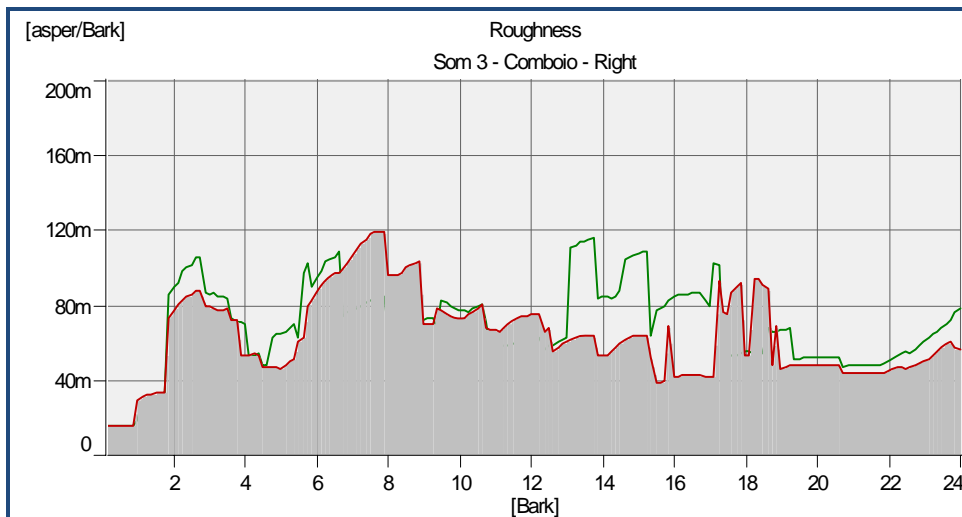


Figura 5.17 – Espectro da *rugosidade* em função da banda crítica do Som 3 (Passagem de um comboio)

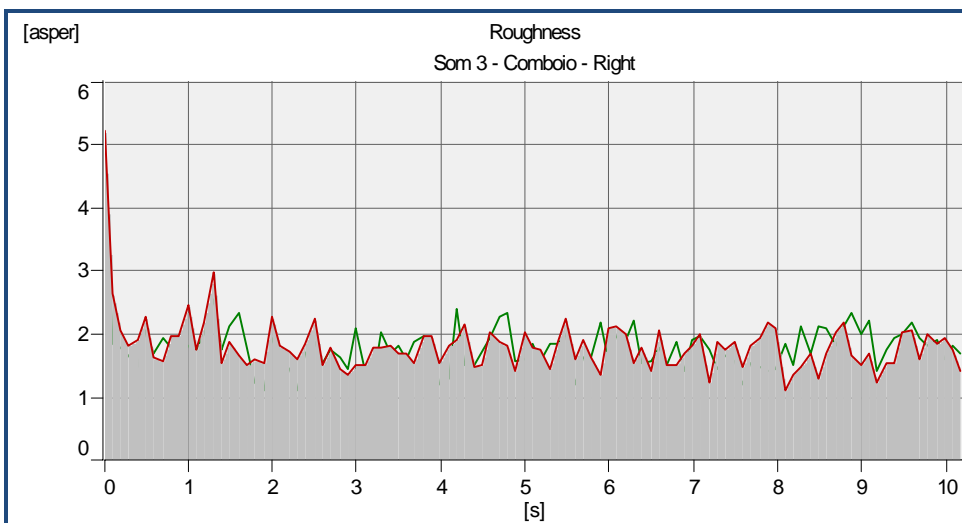


Figura 5.18 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 3 (Passagem de um comboio)

Na Figura 5.19, apresenta-se o espectro por bandas de terço de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo do registo áudio associado ao tráfego rodoviário da VCI (Local 2). Pela análise deste espectro, verifica-se que as bandas de terço de oitava com maior intensidade estão associadas às frequências centrais de 63 e 125 Hz. No entanto, o espectro deste sinal também é rico na gama das frequências médias (500 Hz). A análise da Figura 5.20 valida o facto anteriormente descrito, verificando-se uma significância da sensação de intensidade auditiva na banda de 1 Bark, bem como, uma significância, não tão acentuada como a anterior, na banda de 6 Bark. A Figura 5.21 apresenta a evolução no tempo do espectro da sensação auditiva total, a que corresponde um valor médio de 34 sone. Note-se que, à passagem de veículos estão associadas oscilações da sensação de intensidade auditiva que podem ser da ordem de 10 sone. Na Figura 5.22 apresenta-se a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, ao qual corresponde um valor médio aproximadamente igual a 2 acum.

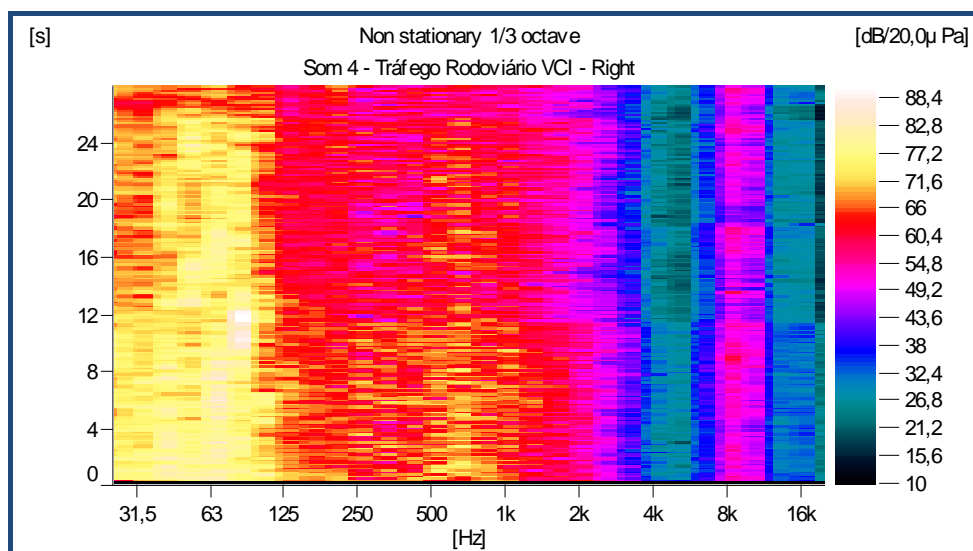


Figura 5.19 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)

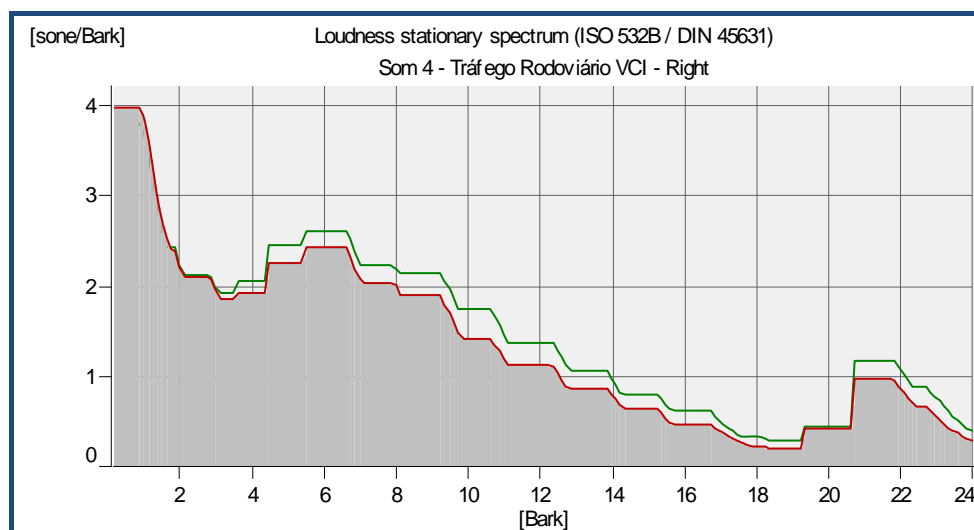


Figura 5.20 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)

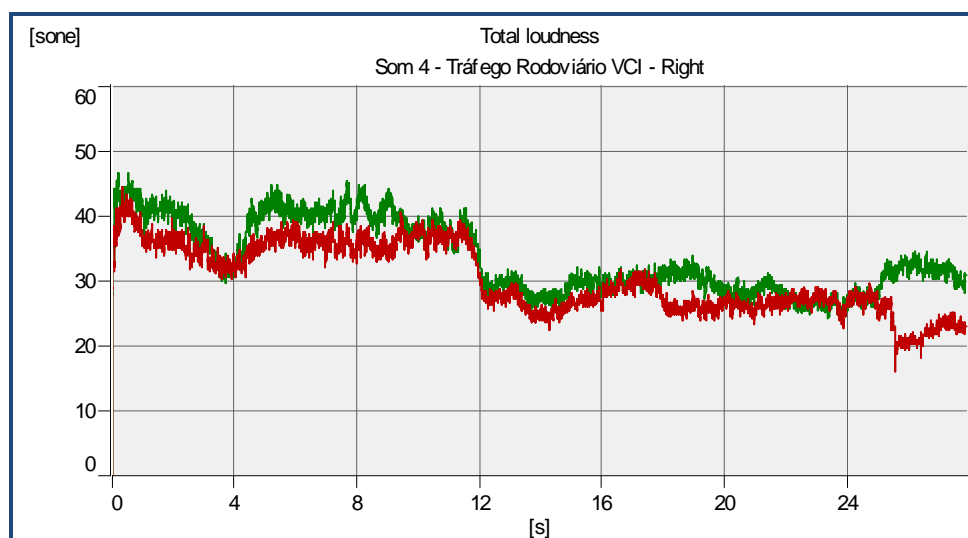


Figura 5.21 – Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)

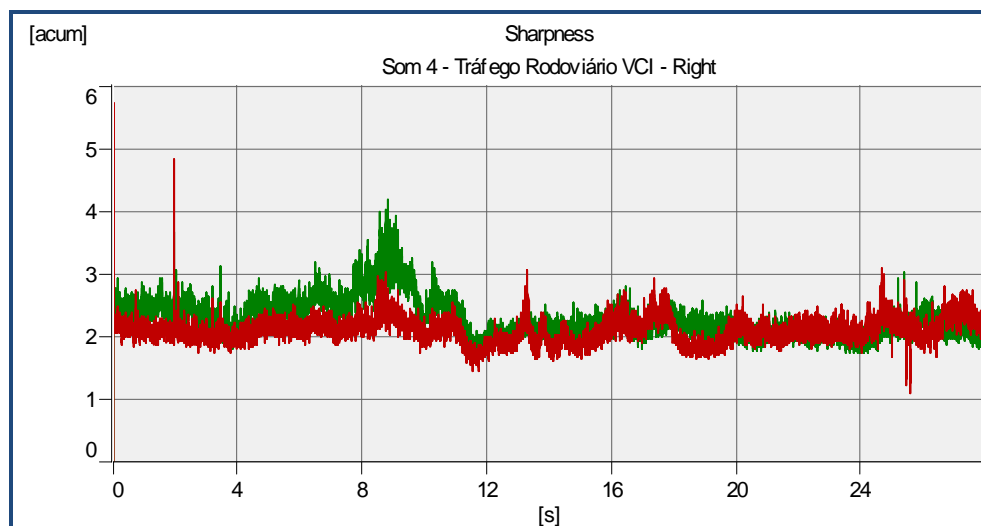


Figura 5.22 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)

Os gráficos da Figura 5.23 e 5.24 apresentam, respectivamente, a distribuição do parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica e a correspondente evolução em função do tempo.

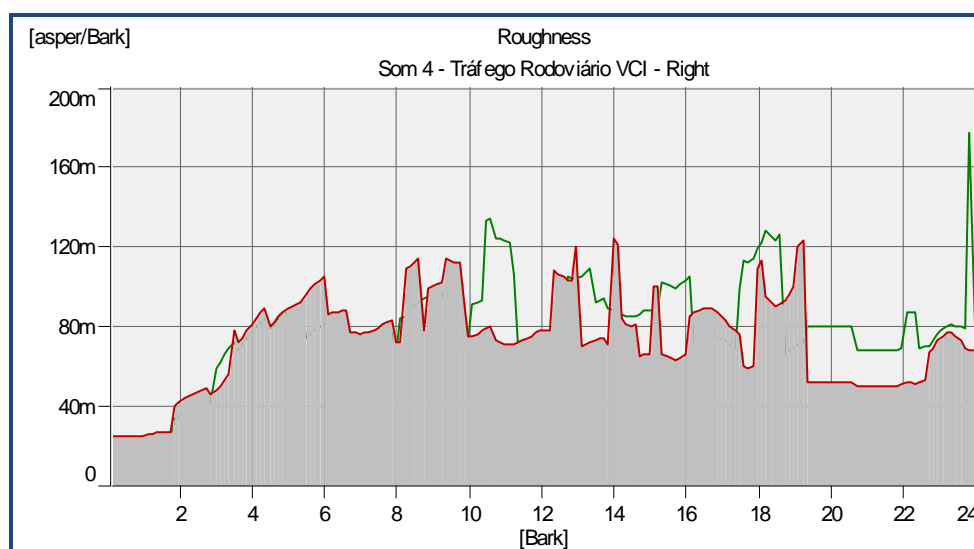


Figura 5.23 – Espectro da *rugosidade* em função da banda crítica do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)

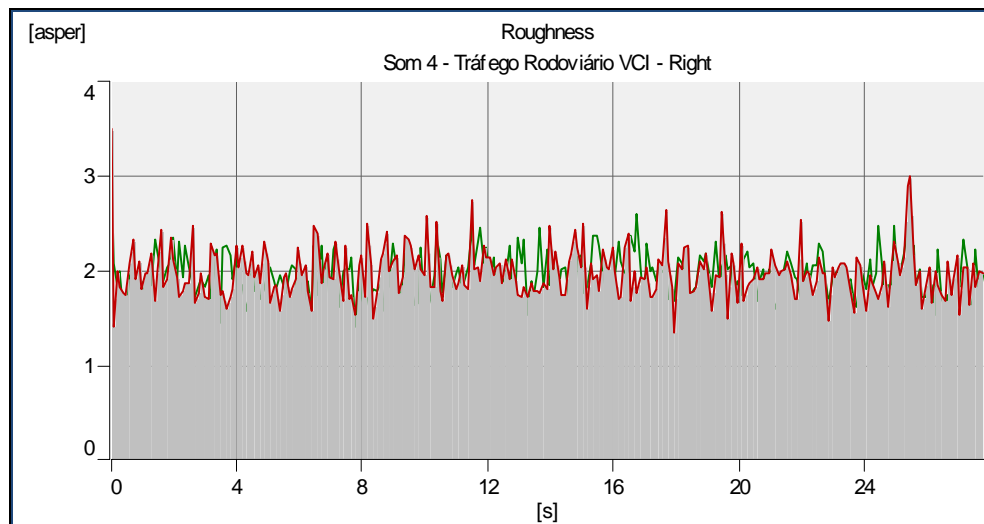


Figura 5.24 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 4 (Tráfego rodoviário na VCI)

Para o Som 5 (passagem de um eléctrico antigo), apresenta-se na Figura 5.25 o espectro do respectivo registo áudio, por bandas de terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, no qual se pode constatar a existência das componentes com intensidade mais elevada na gama de frequências compreendida entre as bandas de terços de oitava centradas nas frequências de 31,5 e 1500 Hz. O mesmo se verifica, analisando o gráfico da Figura 5.26, em que a sensação de intensidade auditiva para as bandas críticas compreendida entre as bandas de 2 e 10 Bark é mais elevada. O gráfico da Figura 5.27 apresenta a evolução da *sensação de intensidade auditiva* total em função do tempo, a que corresponde um valor médio de 26 sone.

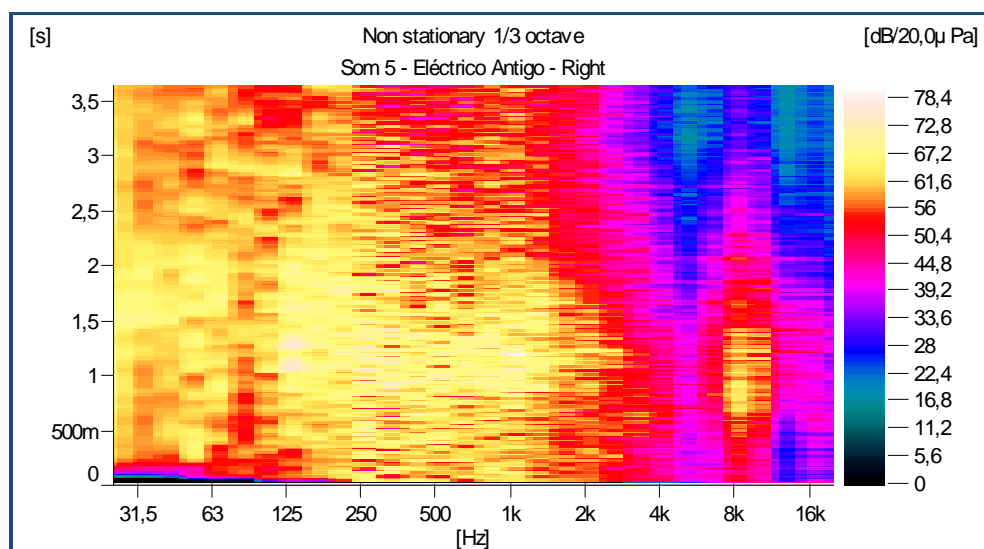


Figura 5.25 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)

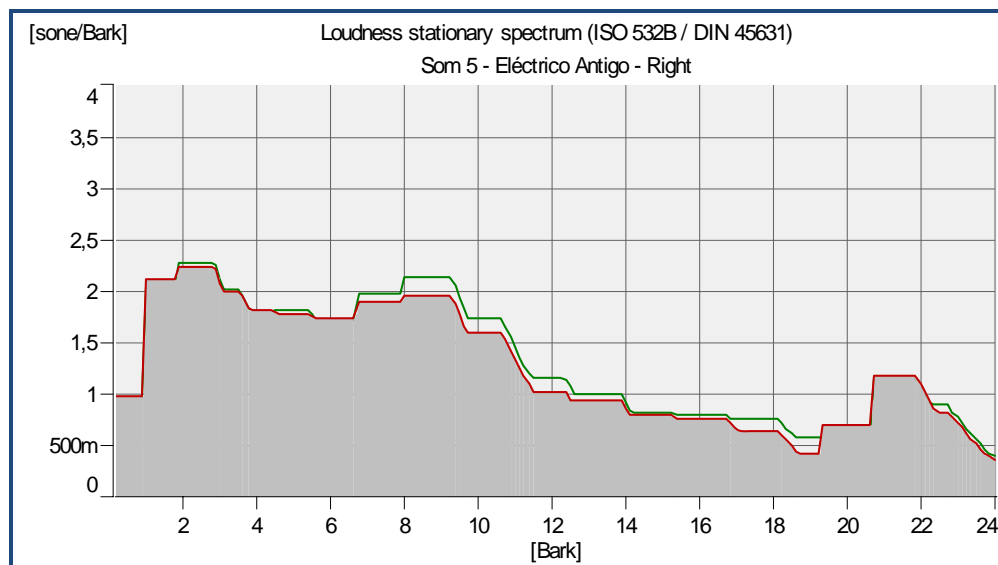


Figura 5.26 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)

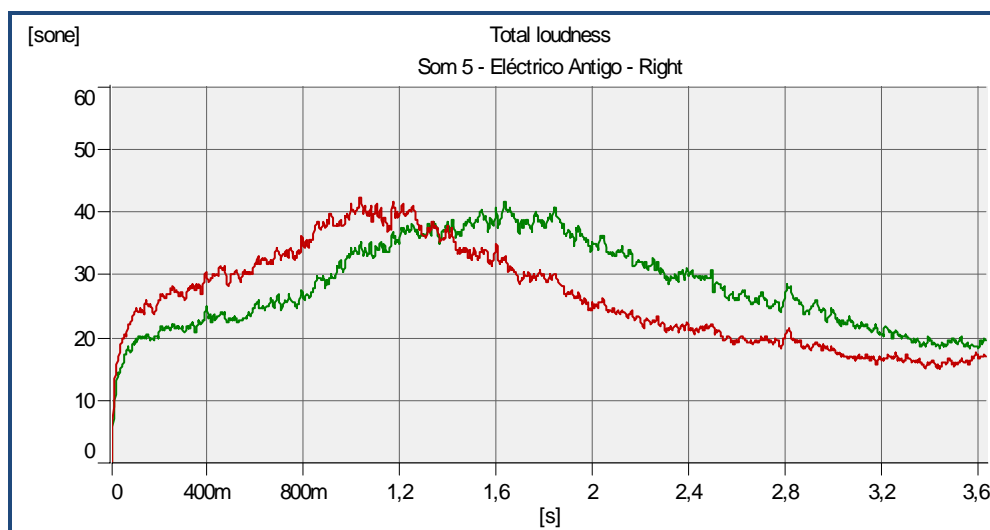


Figura 5.27– Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)

A Figura 5.28, apresenta a evolução no tempo do parâmetro psicoacústico *agudeza* (valor médio aproximadamente igual a 2,1 acum), enquanto que nas Figuras 5.29 e 5.30 se apresenta a distribuição do parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica, e a sua evolução em função do tempo (valor médio aproximadamente igual a 2,2 asper).

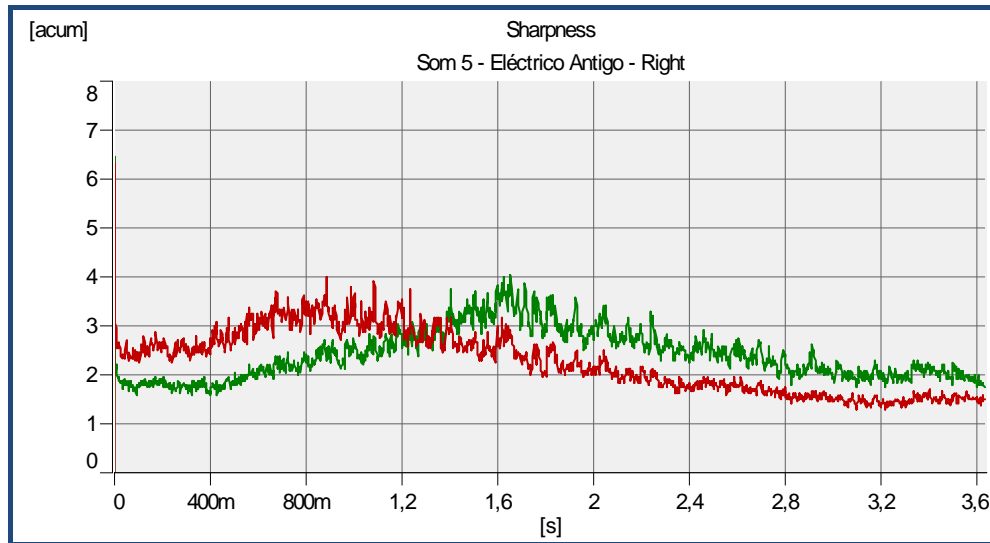


Figura 5.28– Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)

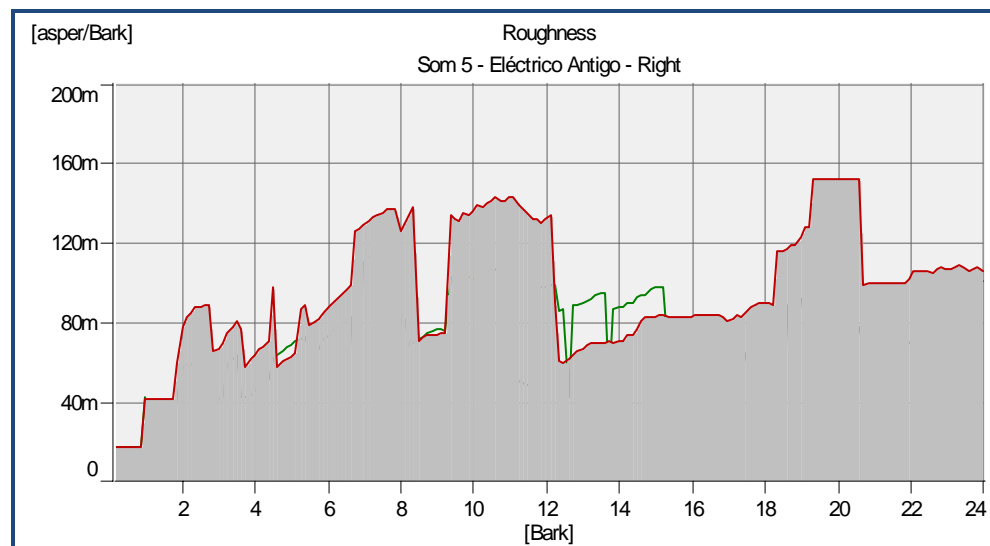


Figura 5.29– Espectro da *rugosidade* por banda crítica do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)

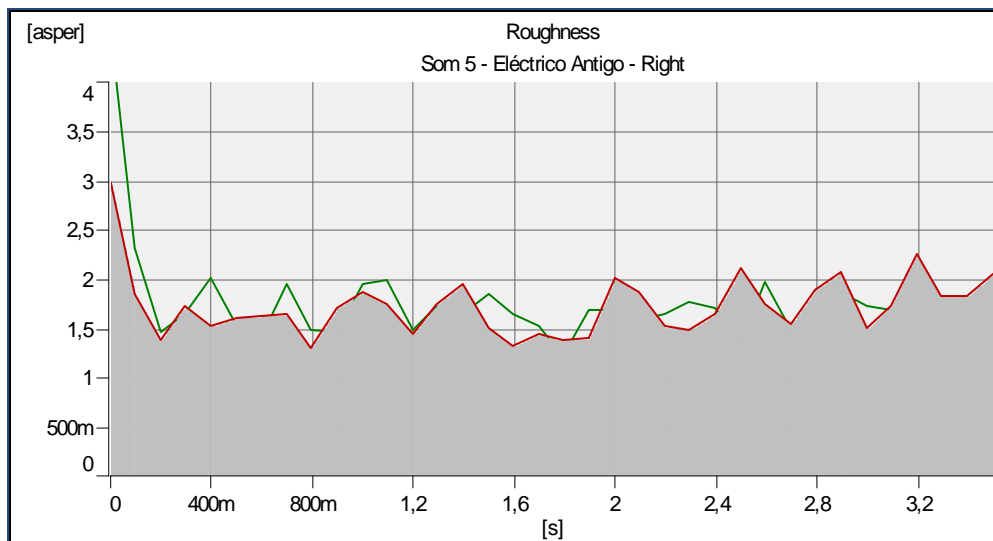


Figura 5.30– Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 5 (Passagem de um eléctrico antigo)

No que respeita ao espectro do ruído do Som 6 (Som 6: Tráfego rodoviário no Cais do Sodré), apresenta-se na Figura 5.31 o correspondente espectro por bandas de terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo. Pela análise desta figura, verifica-se que nas bandas centradas nas frequências entre os 31,5 e 63 Hz ocorre uma maior intensidade sonora, seguindo-se a região compreendida entre os 125 e 1250 Hz. A Figura 5.32 comprova o facto anteriormente descrito, verificando-se uma significância importante da *sensação de intensidade auditiva* na banda de 1 Bark, e depois, uma significância, não tão acentuada como a anterior, nas bandas compreendidas entre os 4 e 10 Bark. A Figura 5.33, apresenta a evolução no tempo do espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, a que corresponde um valor médio de 24 sone. Neste gráfico, também é possível visualizar a existência de oscilações, da ordem de 10 sone. Na Figura 5.34, apresenta-se a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, em função do tempo, sendo o valor médio aproximadamente igual a 1,9 acum.

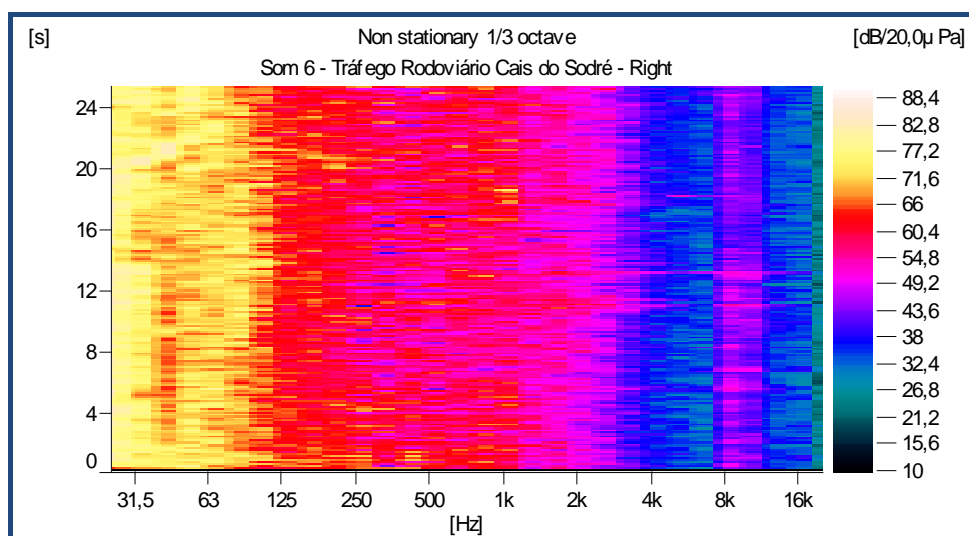


Figura 5.31 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)

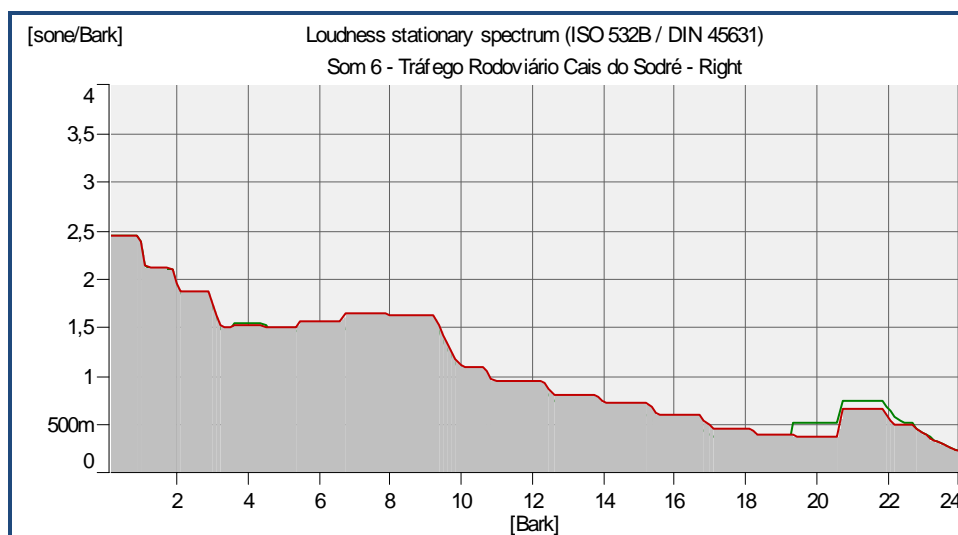


Figura 5.32– Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)

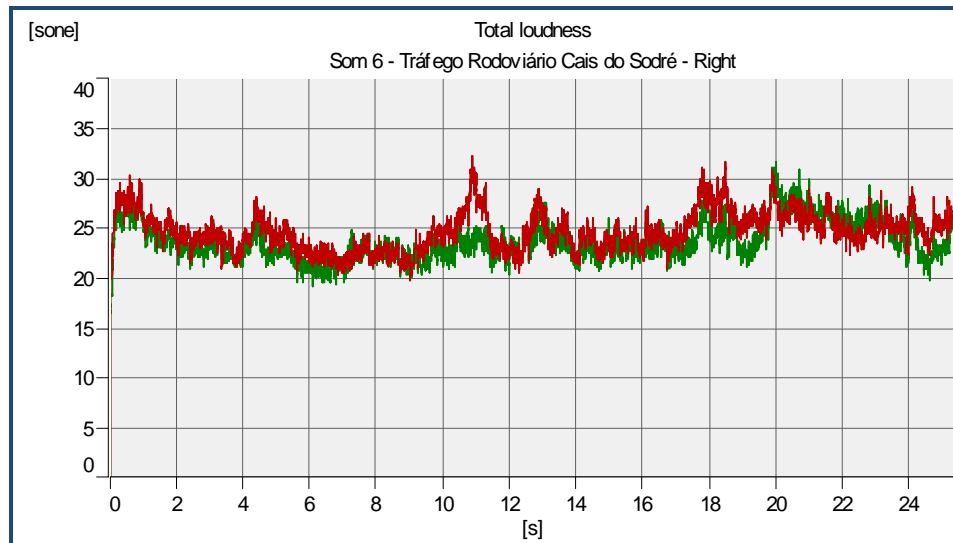


Figura 5.33 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)

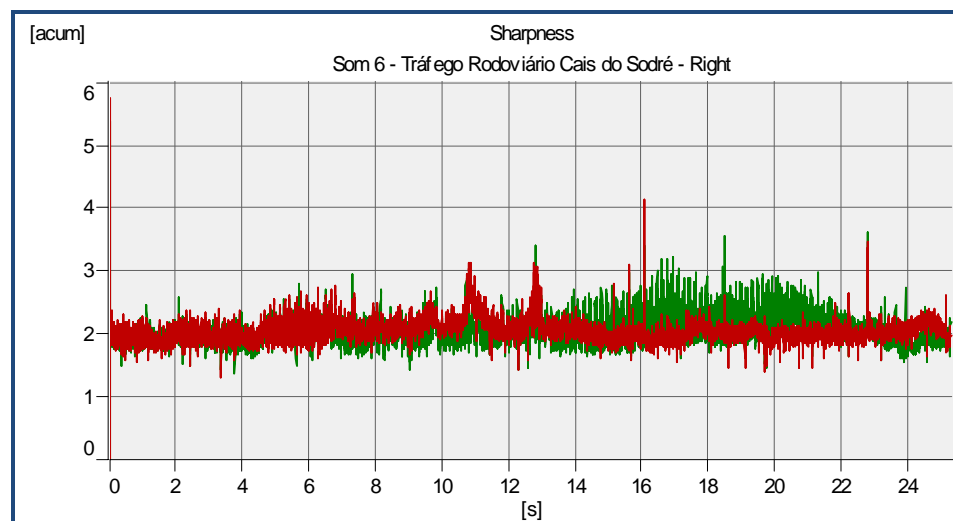


Figura 5.34 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)

Nas Figuras 5.35 e 5.36, apresenta-se a distribuição do parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica e a respectiva evolução no tempo, sendo o valor médio da ordem dos 1,3 asper.

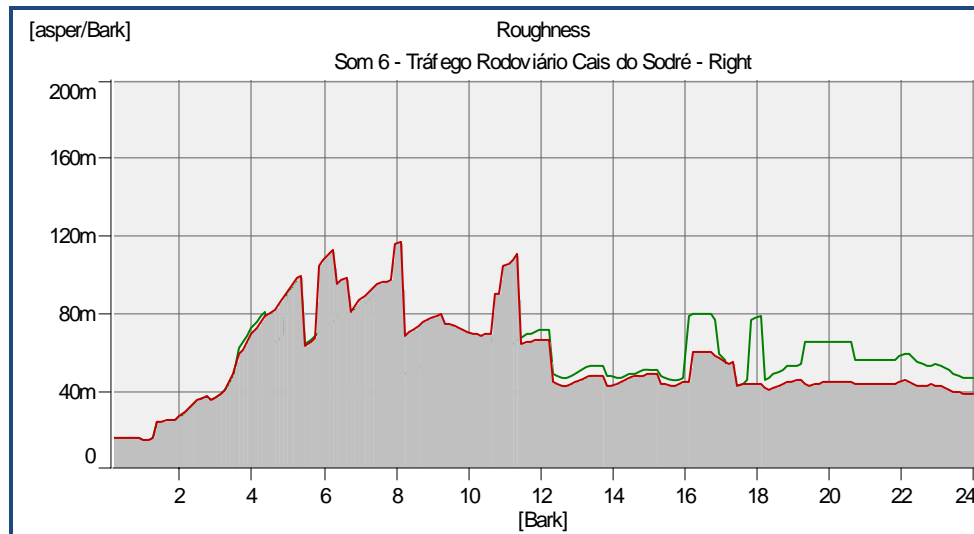


Figura 5.35 – Espectro da *rugosidade* por banda crítica do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)

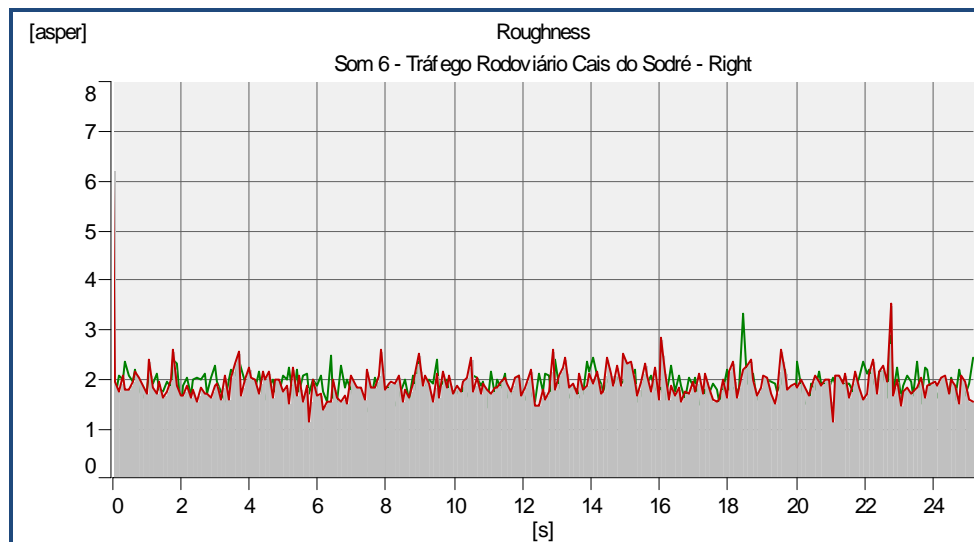


Figura 5.36 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 6 (Tráfego rodoviário no Cais do Sodré)

No que respeita ao Som 7 (passagem de motociclo com ruído de escape significativo), a Figura 5.37 apresenta o respectivo espectro por bandas de terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo. Pela análise desta figura, verifica-se que as bandas associadas às frequências centrais de 31,5, 63 e 500 Hz, são as que apresentam maior intensidade. Analisando a Figura 5.38 correspondendo ao espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, verifica-se uma significância importante das bandas de 2 e 5 Bark. A Figura 5.39 apresenta a evolução no tempo do espectro da *sensação de intensidade auditiva* total associada à passagem do motociclo, a que corresponde um valor médio de 31 sone. Na Figura 5.40 apresenta-se a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, cujo valor médio de 2 acum. Neste caso, é também de

destacar a grande variabilidade desta grandeza, durante breves instantes, a que correspondem uma elevada intensidade.

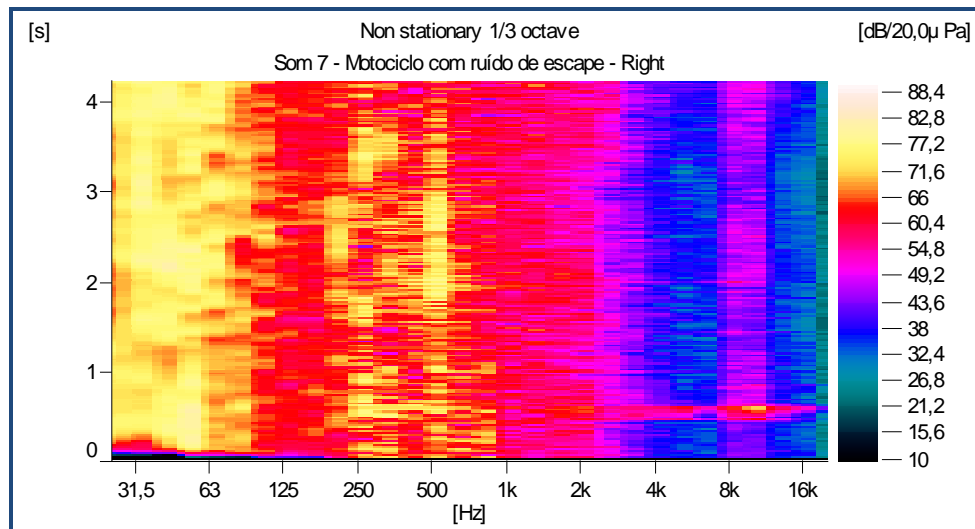


Figura 5.37 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 7 (Passagem de motociclo ruído de escape significativo)

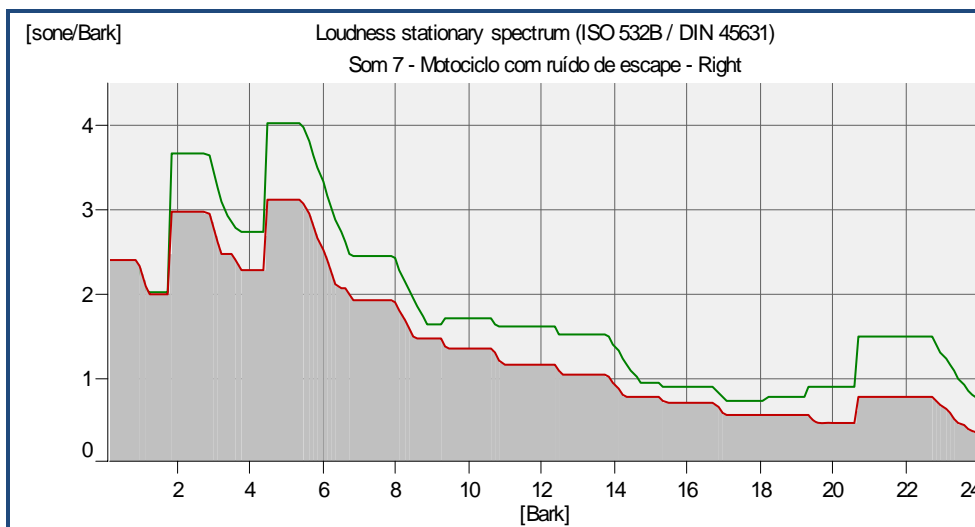


Figura 5.38 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 7 (Passagem de motociclo com ruído de escape significativo)

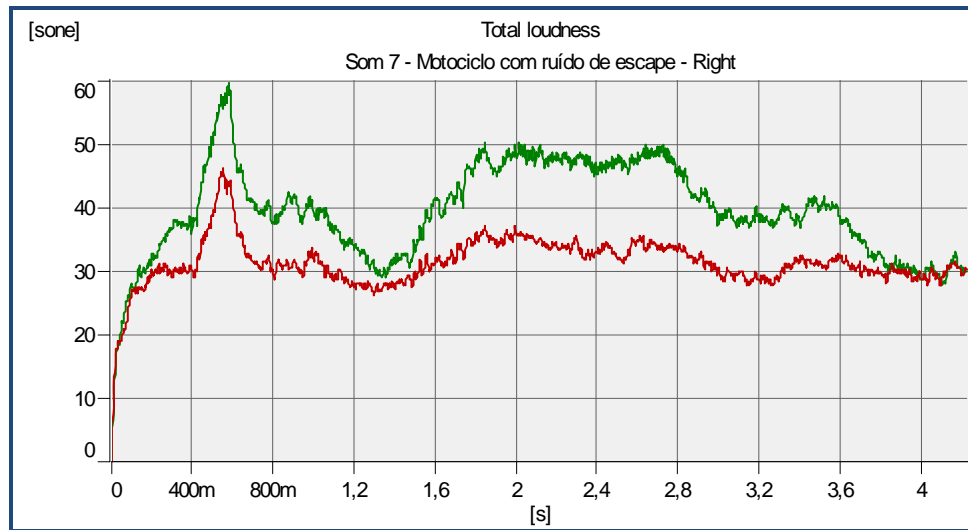


Figura 5.39 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 7 (Passagem de motociclo com ruído de escape ruído de escape significativo)

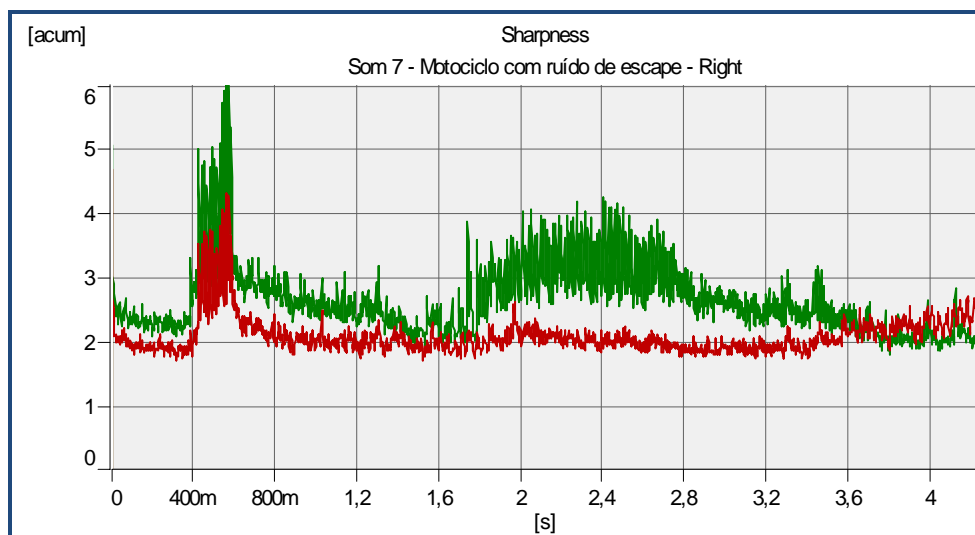


Figura 5.40 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 7 (Passagem de motociclo com ruído de escape ruído de escape significativo)

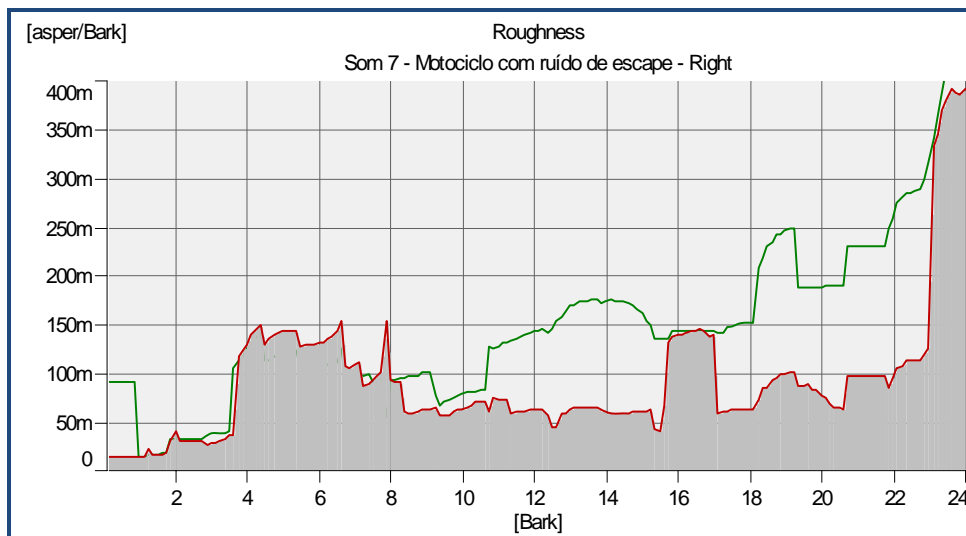


Figura 5.41– Espectro da *rugosidade* por banda crítica do Som 7 (Passagem de motociclo com ruído de escape ruído de escape significativo)

Nas Figuras 5.41 e 5.42, apresenta-se a distribuição do parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica e a respectiva evolução no tempo, a que corresponde um valor médio aproximadamente igual a 2 asper.

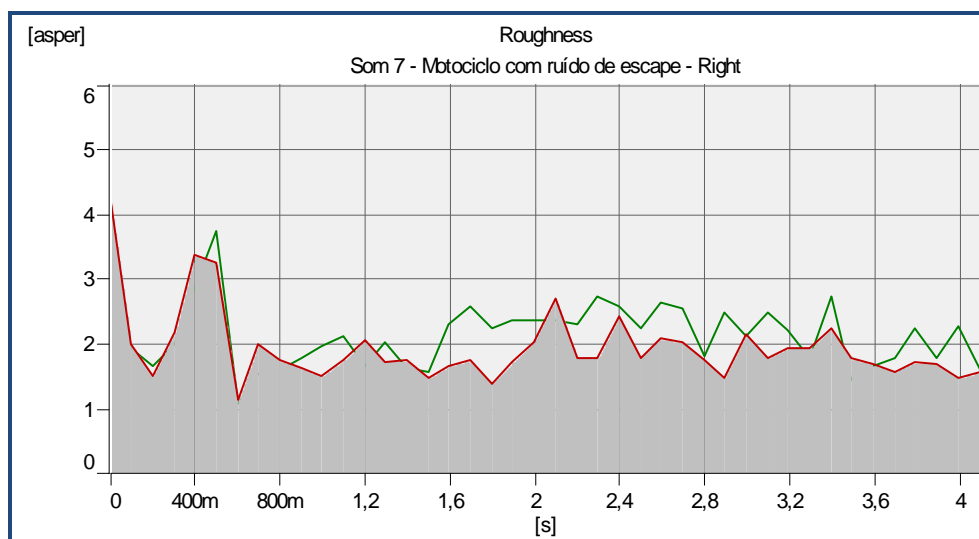


Figura 5.42 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 7 (Passagem de motociclo com ruído de escape ruído de escape significativo)

Para o Som 8 (Tráfego rodoviário na 2ª circular), apresenta-se na Figura 5.43, o correspondente espectro por bandas de terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo. Analisando este espectro, é possível constatar que a maior intensidade espectral está associada às bandas de terços de oitava compreendidas entre as frequências de 63 e 1250 Hz. A análise da Figura 5.32 valida o facto anteriormente

descrito, verificando-se uma significância importante do sinal nas bandas de 6 e 11 Bark. Na Figura 5.45, apresenta-se a evolução no tempo do espectro da sensação auditiva total, a que corresponde um valor médio aproximadamente igual a 23 sone, visualizando-se também, neste caso, oscilações deste parâmetro da ordem de 10 sone. A Figura 5.46 apresenta a evolução do parâmetro psicoacústico “agudeza” em função do tempo, a que corresponde um valor médio de 2 acum. Nas Figuras 5.47 e 5.48, apresenta-se a distribuição do parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica e a respectiva evolução no tempo, sendo o valor médio da ordem dos 1,8 asper.

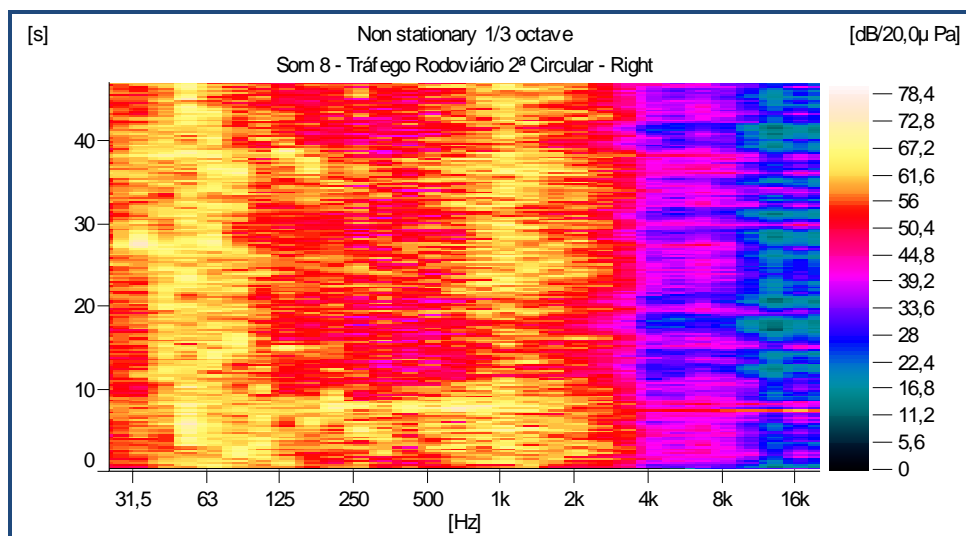


Figura 5.43– Espectro de bandas de terço de oitava do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2ª circular)

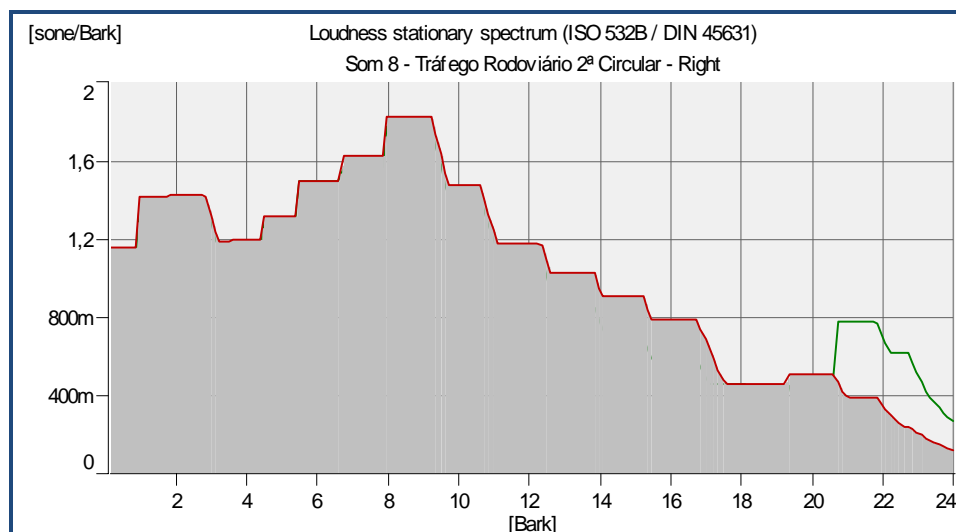


Figura 5.44 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2ª circular)

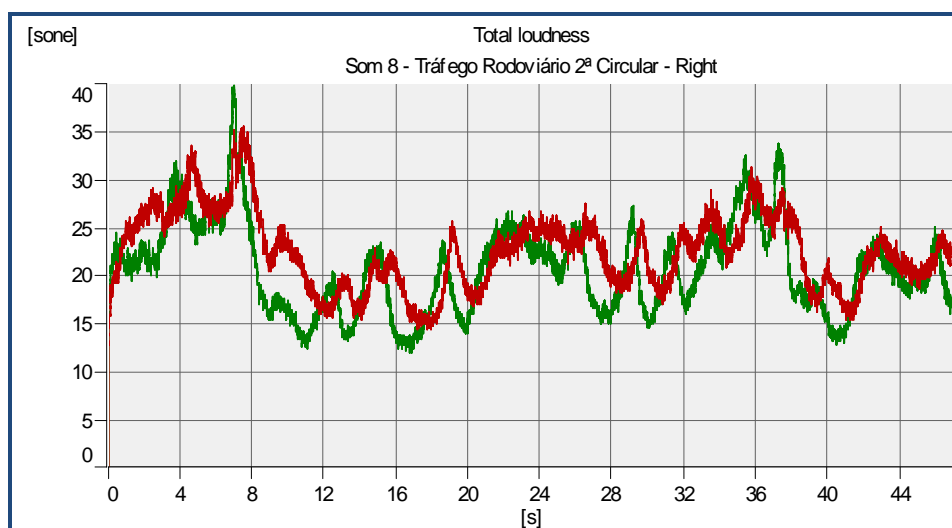


Figura 5.45 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2ª circular)

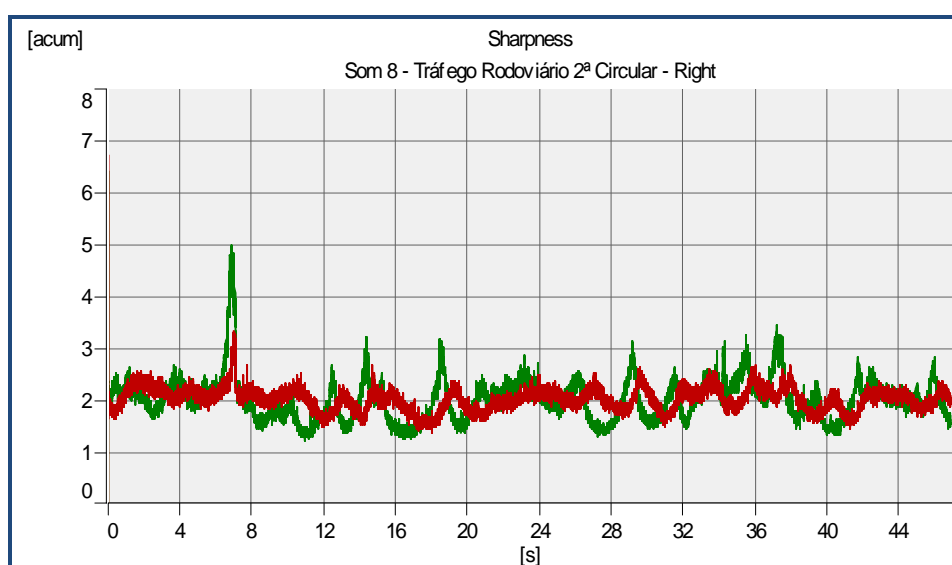


Figura 5.46 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2ª circular)

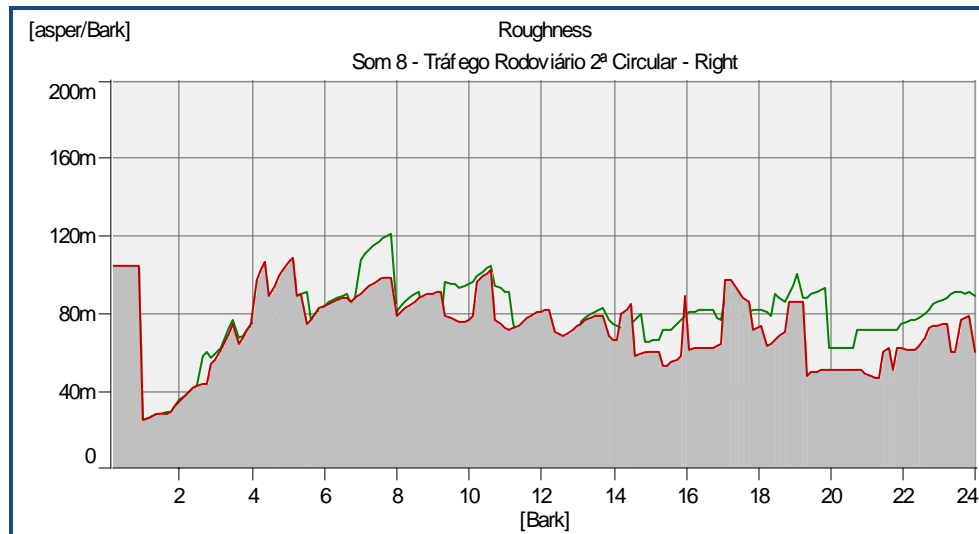


Figura 5.47 – Espectro da *rugosidade* em função da banda crítica do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2ª circular)

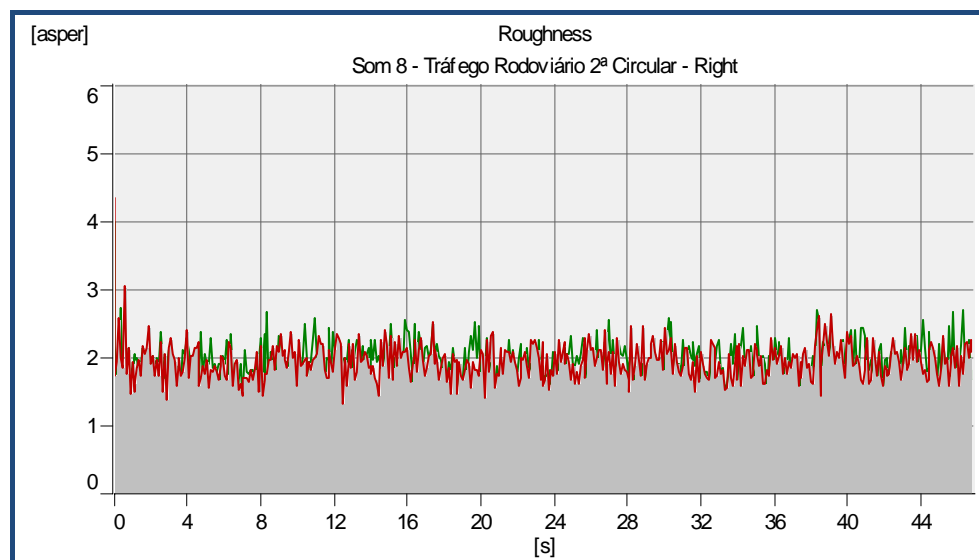


Figura 5.48 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 8 (Tráfego rodoviário na 2ª circular)

Relativamente ao Som 9 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro) a Figura 5.49 apresenta o correspondente espectro por bandas de terço de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo. Neste caso, à semelhança do som anterior, é possível constatar que a maior intensidade do espectro está associada às bandas de terço de oitava centradas nas frequências compreendidas entre 63 e 2000 Hz. A análise da Figura 5.50 valida o facto anteriormente descrito, verificando-se uma significância importante do sinal nas bandas inferiores a 3 Bark, seguida das bandas críticas entre os 6 e 10 Bark, com menor intensidade na banda dos 21 Bark. Na Figura 5.51, apresenta-se a evolução no tempo do

espectro da *sensação de intensidade auditiva total*, a que corresponde um valor médio aproximadamente igual a 39 sone. A Figura 5.52 apresenta a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, em função do tempo, e para a qual corresponde um valor médio de 2 acum. Nas Figuras 5.47 e 5.48 apresenta-se a distribuição do parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica e a respectiva evolução no tempo, cujo valor médio é da ordem dos 1,7 asper.

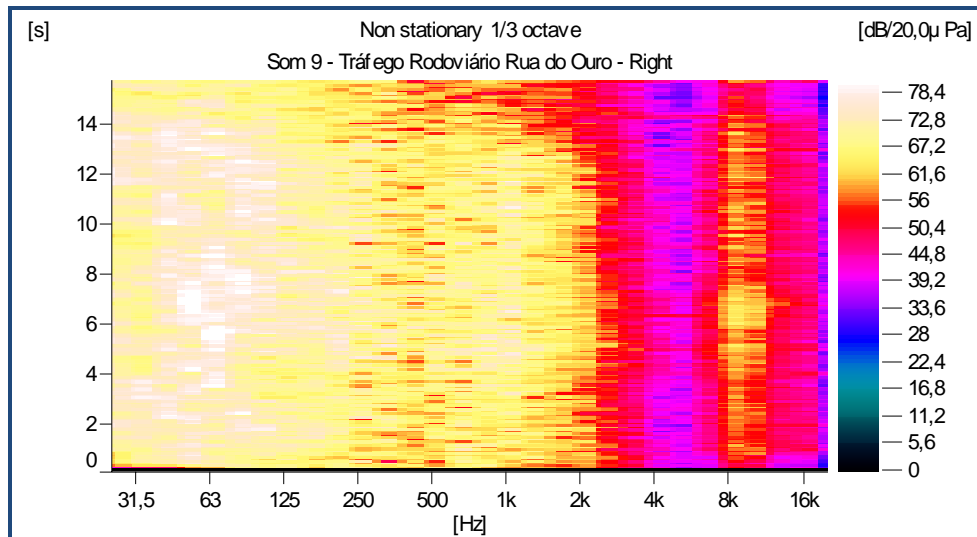


Figura 5.49 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 9 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)

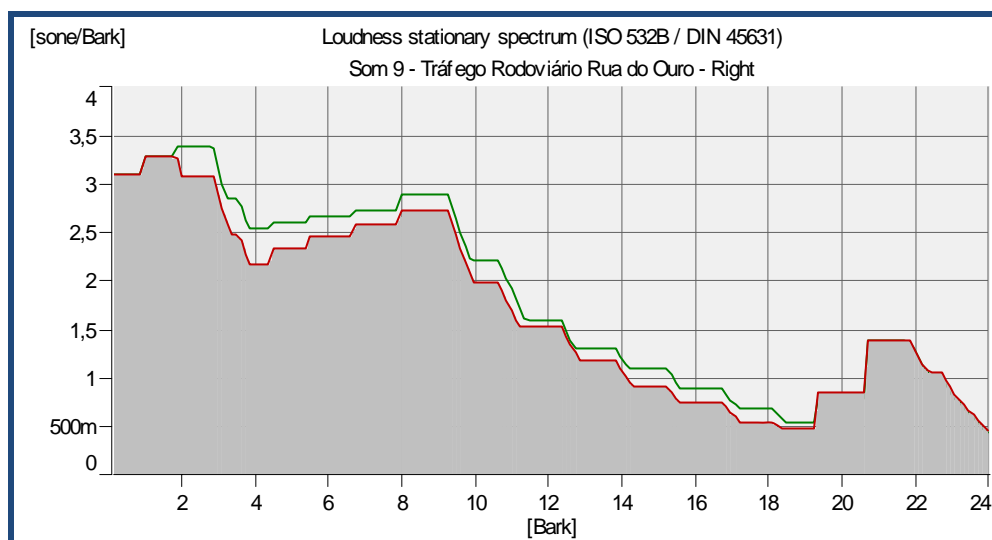


Figura 5.50 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 10 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)

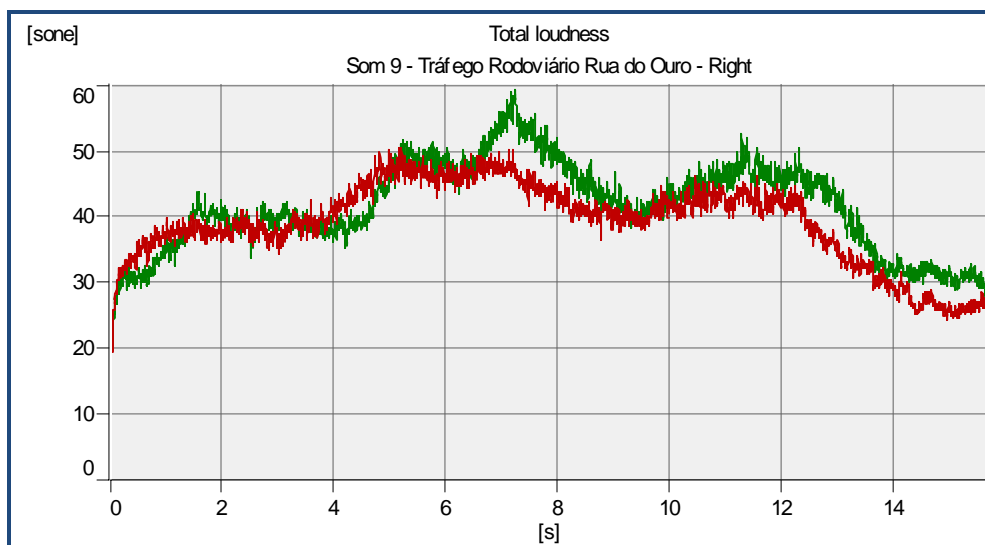


Figura 5.51 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 10 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)

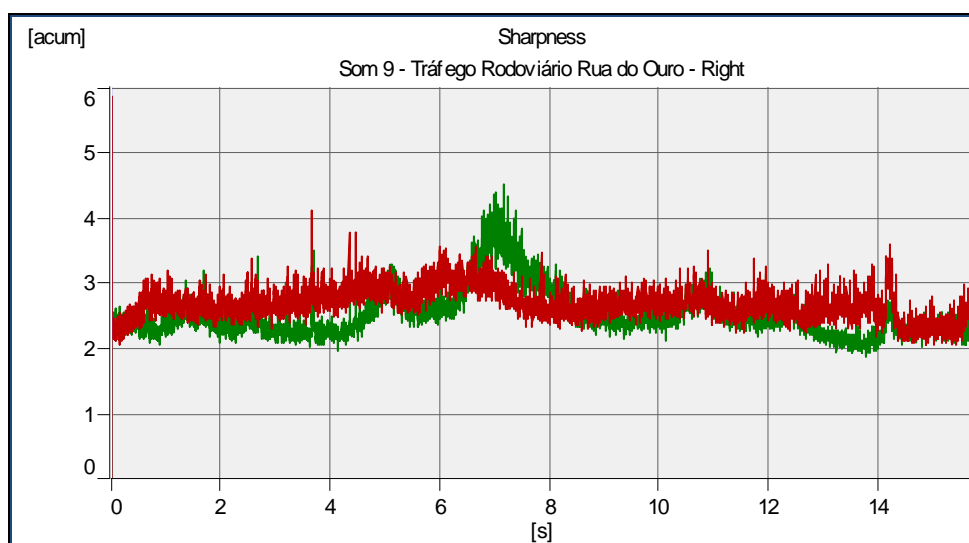


Figura 5.52 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 10 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)

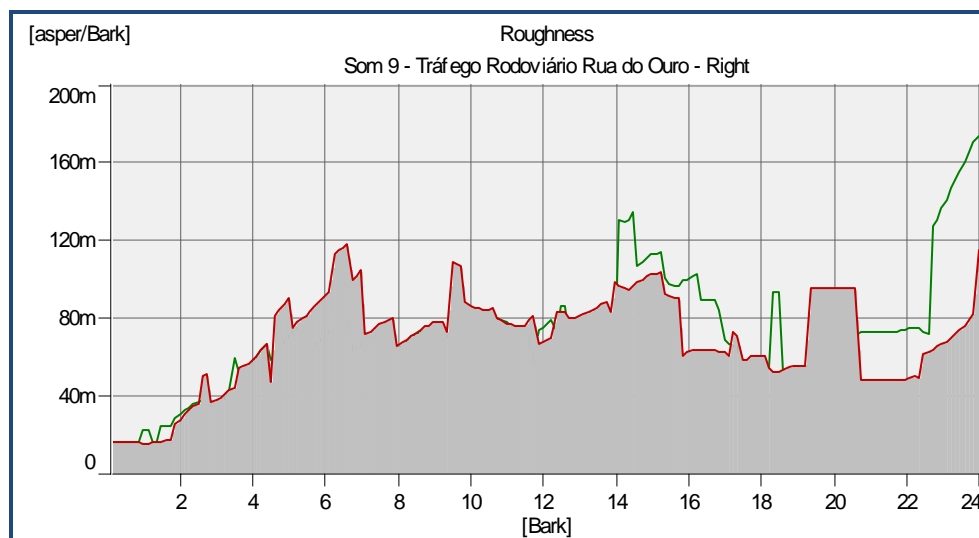


Figura 5.53 – Espectro da *rugosidade* por banda crítica do Som 10 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)

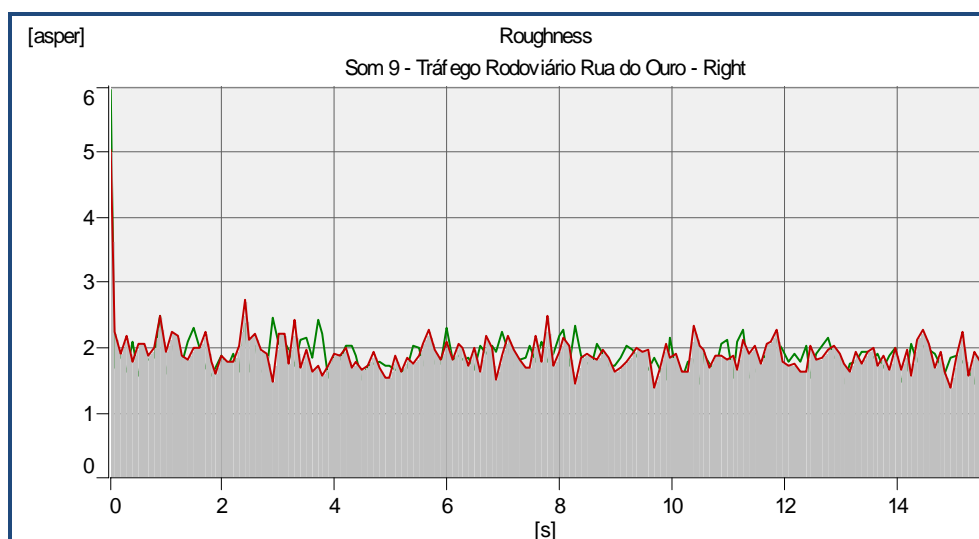


Figura 5.54 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 10 (Tráfego rodoviário na Rua do Ouro)

Relativamente ao Som 10 (passagem do metro de superfície, nas proximidades do bairro de Francos, no Porto), a Figura 5.55 apresenta o espectro por bandas de terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo. A partir da análise desta Figura, constata-se que as intensidades mais elevadas estão associadas às bandas de terços de oitava centradas nas frequências de 63 e 1000 Hz. A Figura 5.56 permite evidenciar que é na banda crítica de 9 Bark que se verifica uma maior *sensação de intensidade auditiva*.

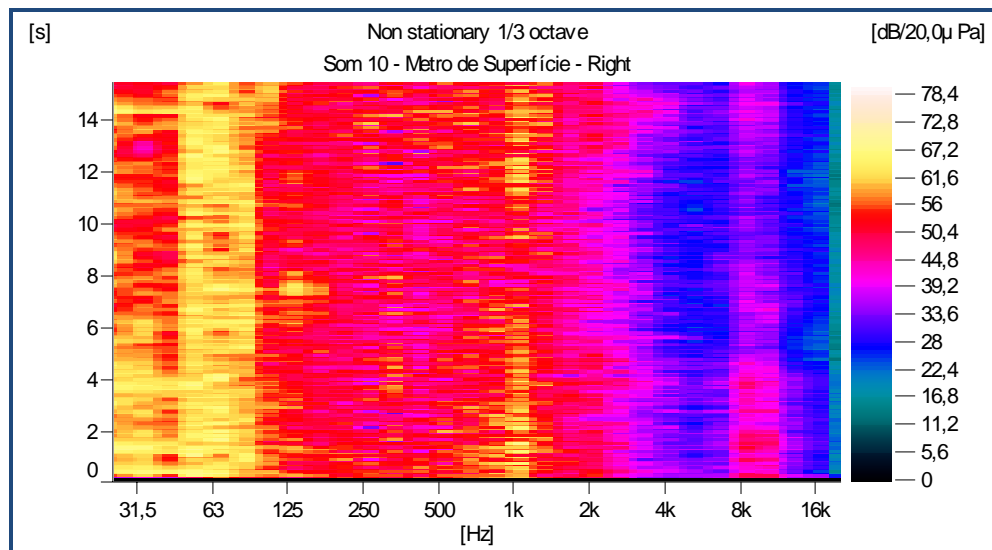


Figura 5.55 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 10 (Passagem do metro do Porto)

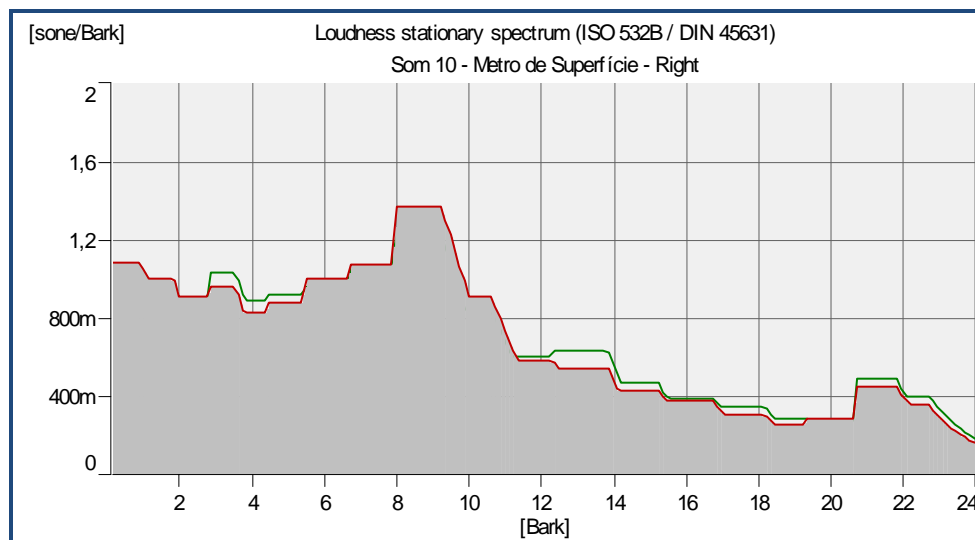


Figura 5.56– Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 10 (Passagem do metro do Porto)

Apresenta-se na Figura 5.57 a evolução no tempo do espectro da *sensação de intensidade auditiva total*, a que corresponde um valor médio aproximadamente igual a 15 sone, e na Figura 5.58 a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, em função do tempo, a que corresponde um valor médio de 1,8 acum. Nas Figuras 5.59 e 5.60, apresenta-se a distribuição do parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica e a respectiva evolução no tempo, sendo o valor médio da ordem dos 1,8 asper.

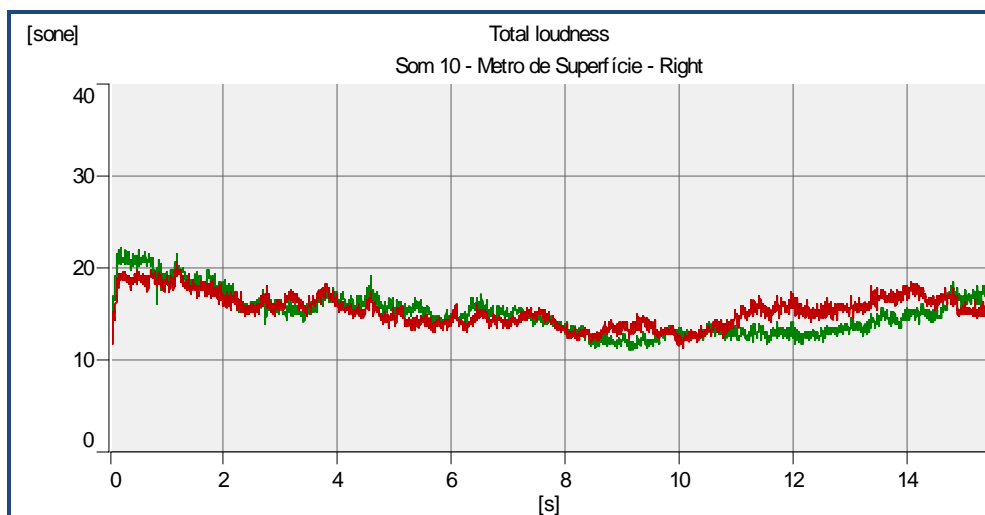


Figura 5.57 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 10 (Passagem do metro do Porto)

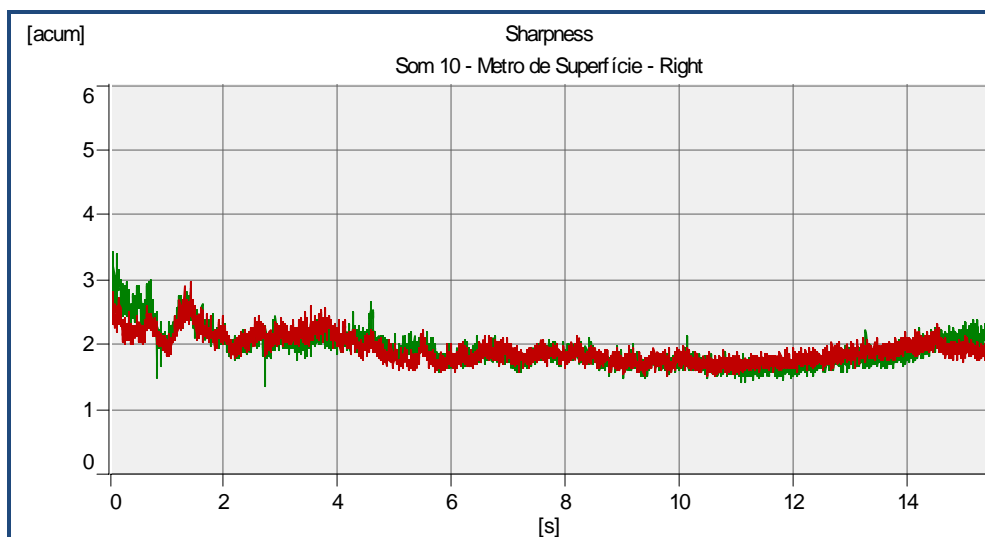


Figura 5.58 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 10 (Passagem do metro do Porto)

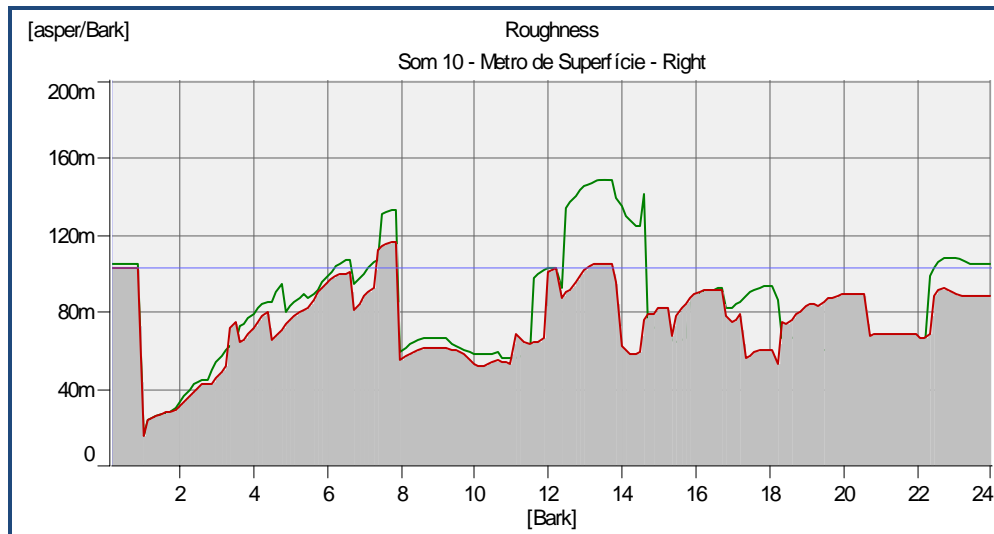


Figura 5.59 – Espectro da *rugosidade* por banda crítica do Som 10 (Passagem do metro do Porto)

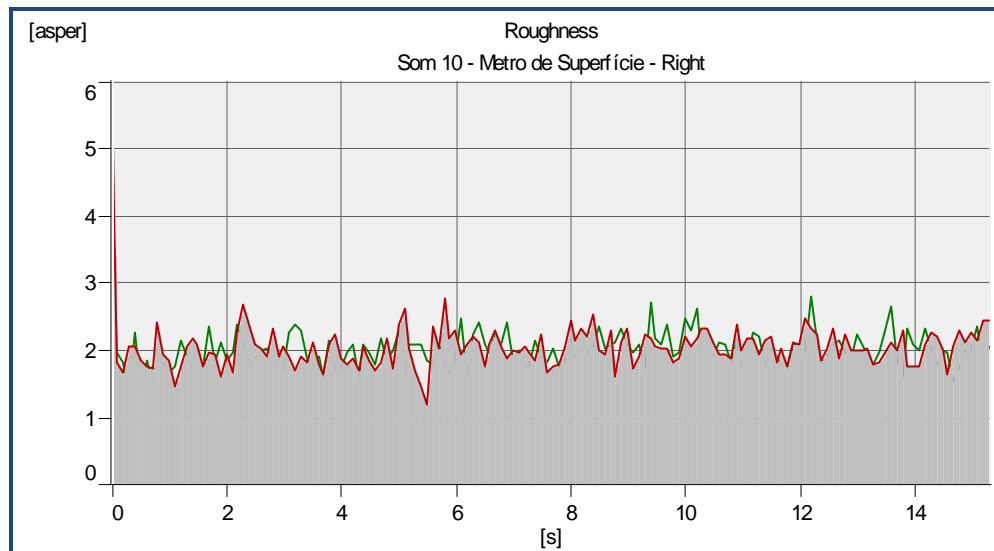


Figura 5.60 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 10 (Passagem do metro do Porto)

No que respeita ao Som 11 (passagem de um eléctrico moderno), a Figura 5.61 apresenta o espectro por bandas de terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo. Pela análise desta Figura, verifica-se que neste tipo de ruído são predominantes as bandas de terços de oitava inferiores à banda centrada na frequência de 1250 Hz, podendo-se visualizar na Figura 5.62, correspondente ao espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, uma significância importante da sensação de intensidade auditiva nas bandas de 2 e 9 Bark. A Figura 5.63 apresenta a evolução no tempo do espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, a que corresponde um valor médio de 44 sone.

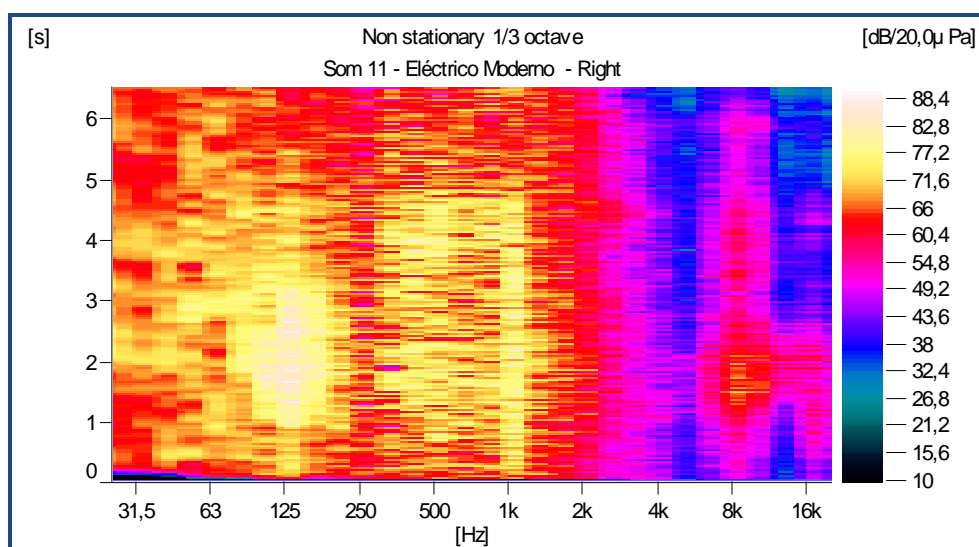


Figura 5.61 – Espectro de bandas de terço de oitava do Som 11 (Passagem de um eléctrico moderno)

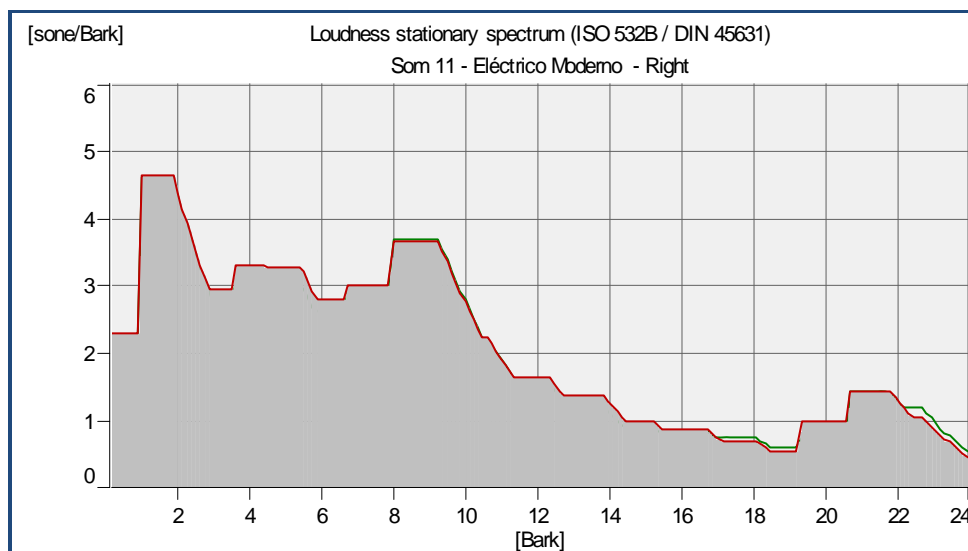


Figura 5.62– Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 11 (Passagem de um eléctrico moderno)

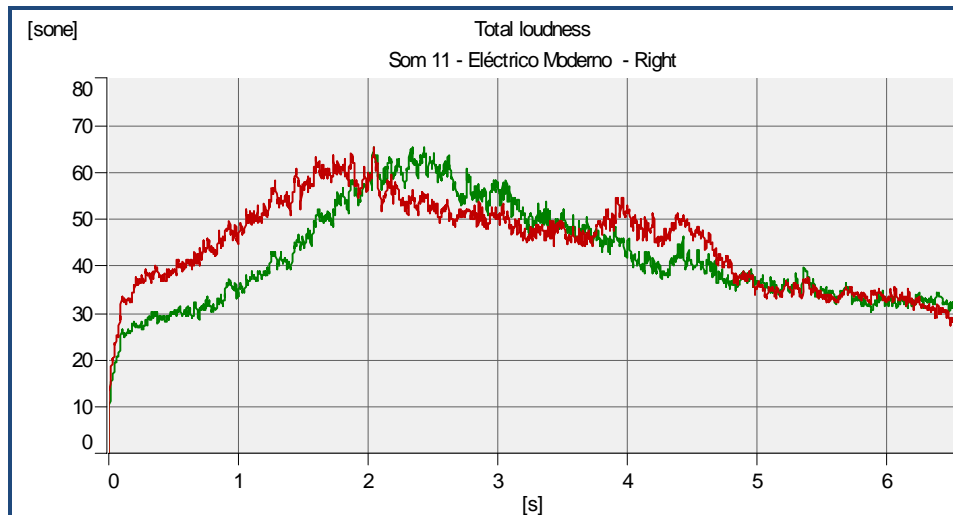


Figura 5.63 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 11 – Passagem de um eléctrico moderno

Na Figura 5.64, apresenta-se a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, cujo valor médio é igual a 2,4 acum, enquanto que nas Figuras 5.65 e 5.66 se apresenta a distribuição do parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica e a respectiva evolução no tempo, cujo valor médio da ordem dos 1,6 asper.

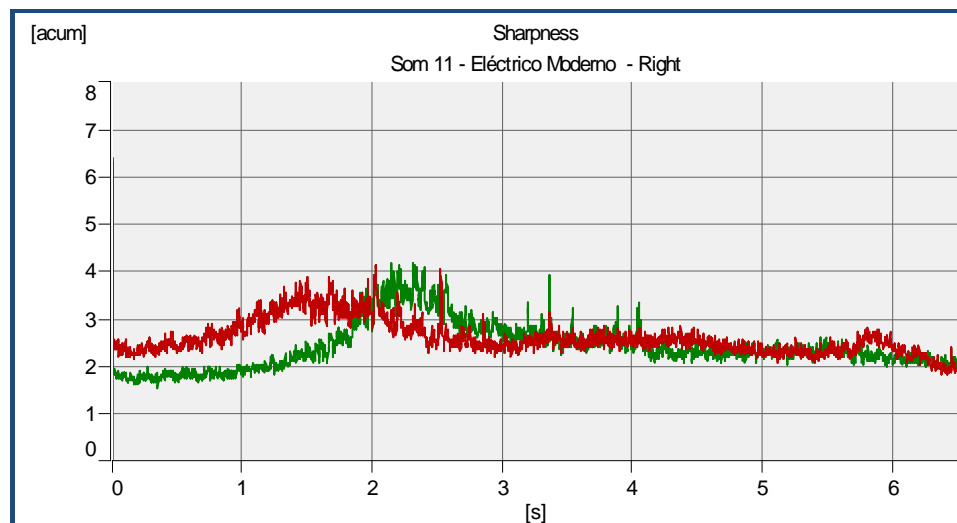


Figura 5.64 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 11 (Passagem de um eléctrico moderno)

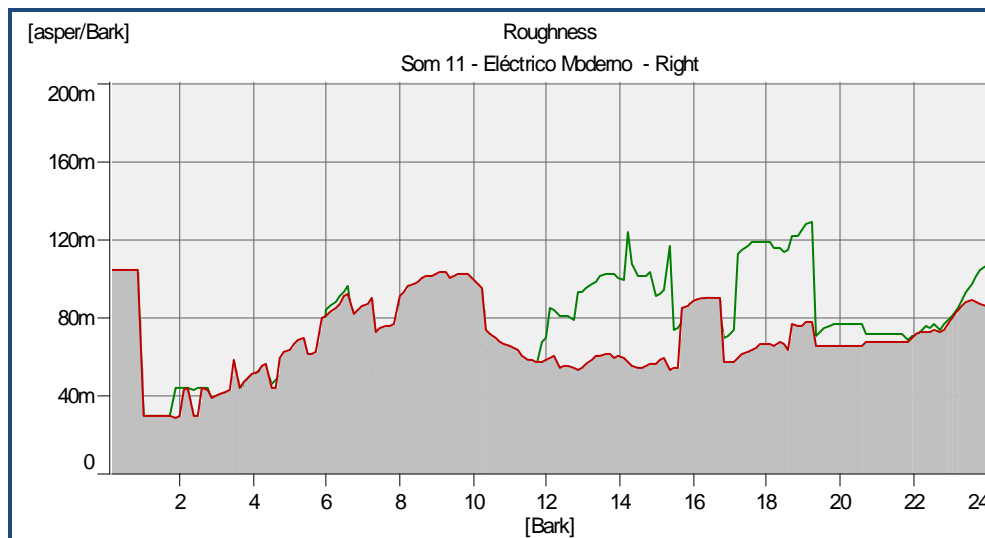


Figura 5.65 – Espectro da *rugosidade* em função da banda crítica do Som 11 (Passagem de um eléctrico moderno)

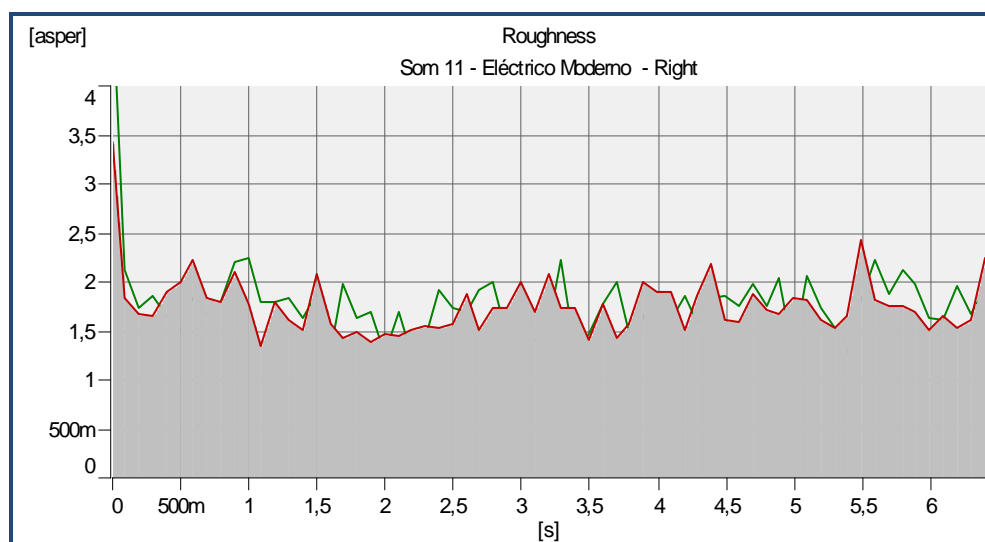


Figura 5.66 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 11 (Passagem de um eléctrico moderno)

No que respeita ao Som 12 (passagem de um motociclo, com dispositivo silenciador de escape), a Figura 5.37 apresenta o espectro por bandas de terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo. Pela análise desta figura, verifica-se que a intensidade mais elevada está associada à banda de terços de oitava centrada na frequência de 100 Hz, tendo o respectivo espectro valores significativos até à banda de terços de oitava centrada na frequência dos 2000 Hz. Analisando a Figura 5.68 (espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica), verifica-se uma significância das bandas de 1, 2 e 6 Bark. A Figura 5.69 apresenta a evolução no tempo do espectro da *sensação de intensidade auditiva* total associada à passagem do motociclo, a que

corresponde um valor médio de 12 sone. Na Figura 5.70, apresenta-se a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, cujo valor médio é igual a 1,5 acum. As Figuras 5.71 e 5.72 apresentam respectivamente a distribuição do parâmetro psicoacústico *rugosidade* por banda crítica e a respectiva evolução no tempo, cujo valor médio da ordem dos 2 asper.

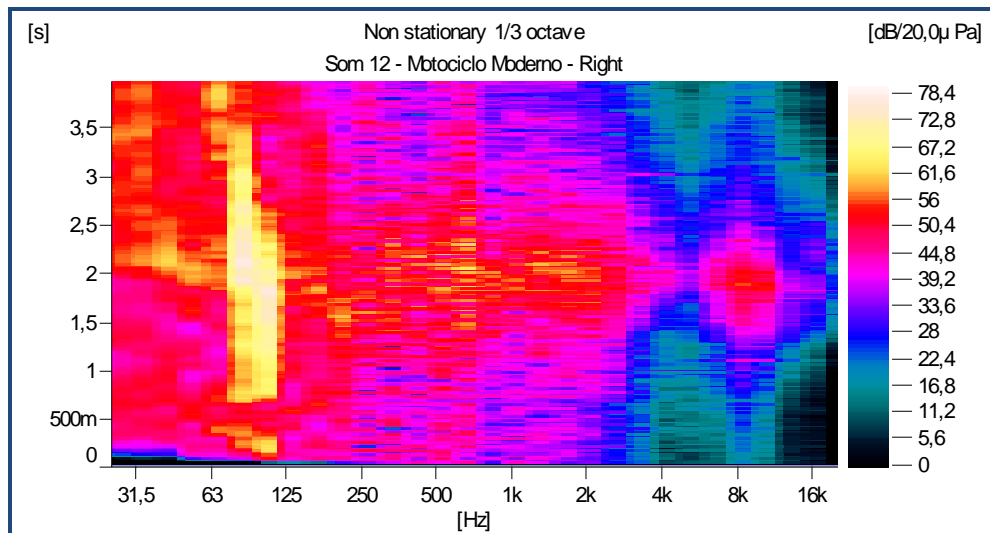


Figura 5.67– Espectro de bandas de terço de oitava do Som 12 (Passagem de motociclo)

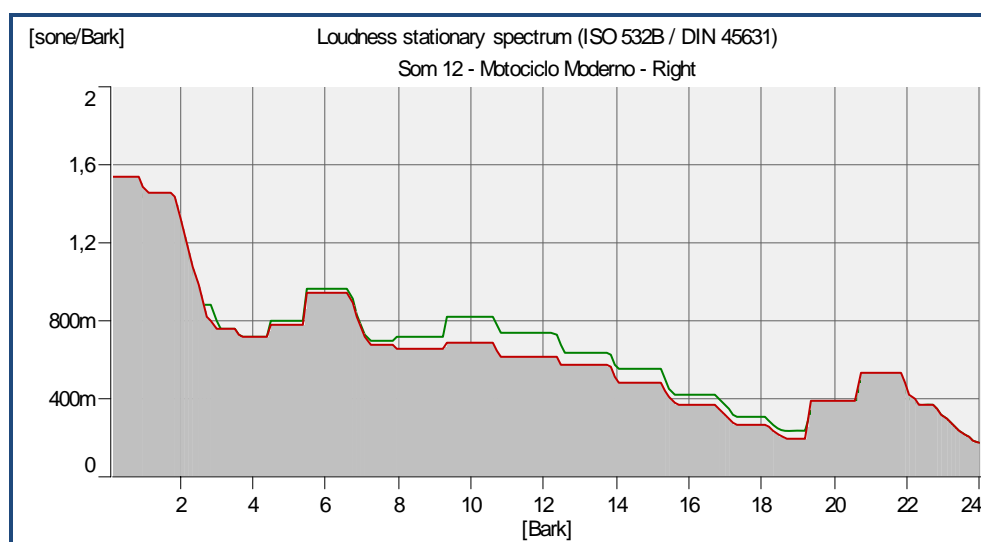


Figura 5.68– Espectro da *sensação intensidade auditiva* por banda crítica do Som 12 (Passagem de motociclo)

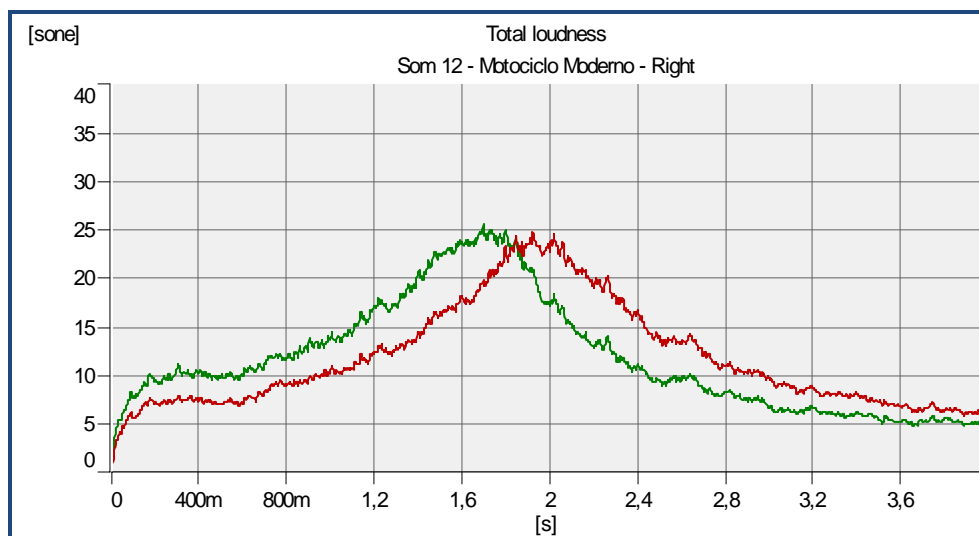


Figura 5.69 – Espectro da *sensação intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 12 (Passagem de motociclo)

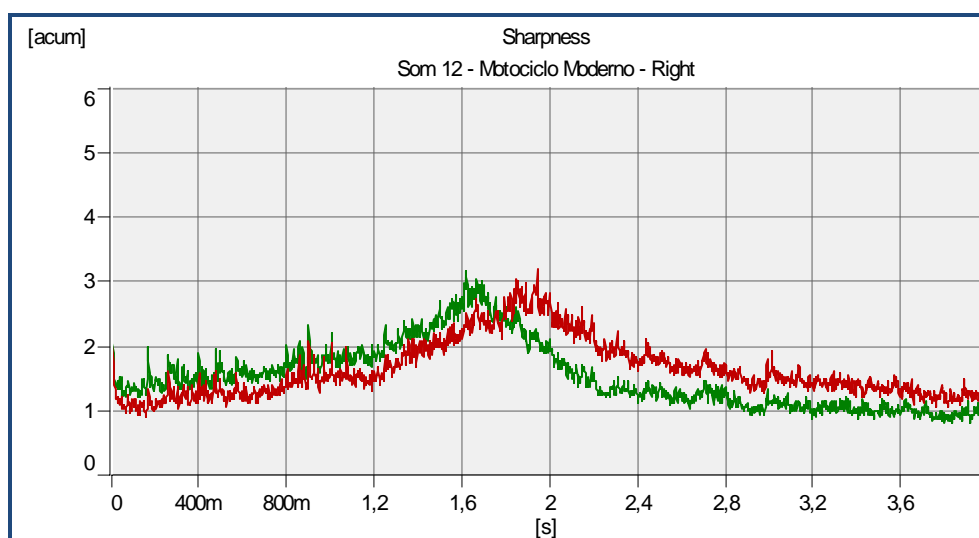


Figura 5.70 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 12 (Passagem de motociclo)

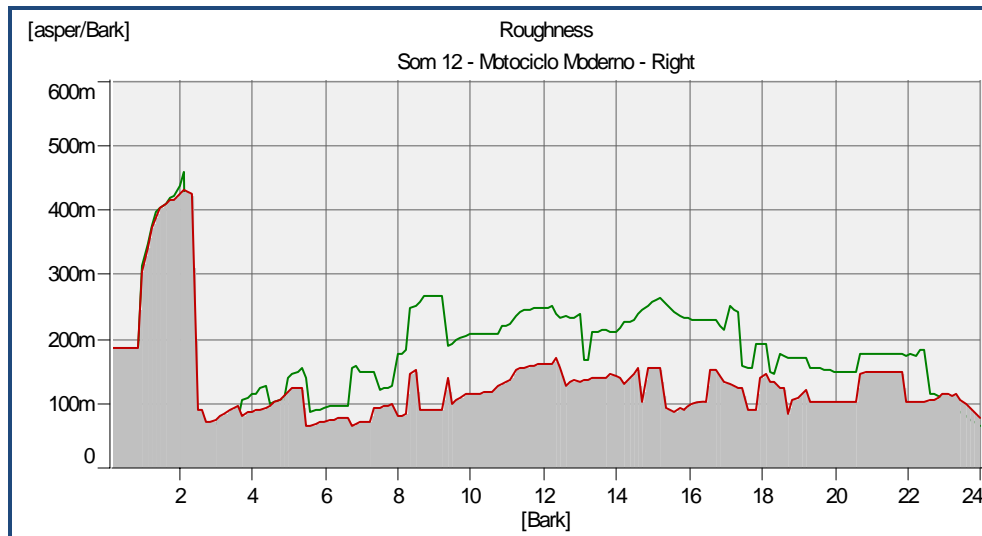


Figura 5.71– Espectro da *rugosidade* por banda crítica em função do tempo do Som 12 (Passagem de motociclo)

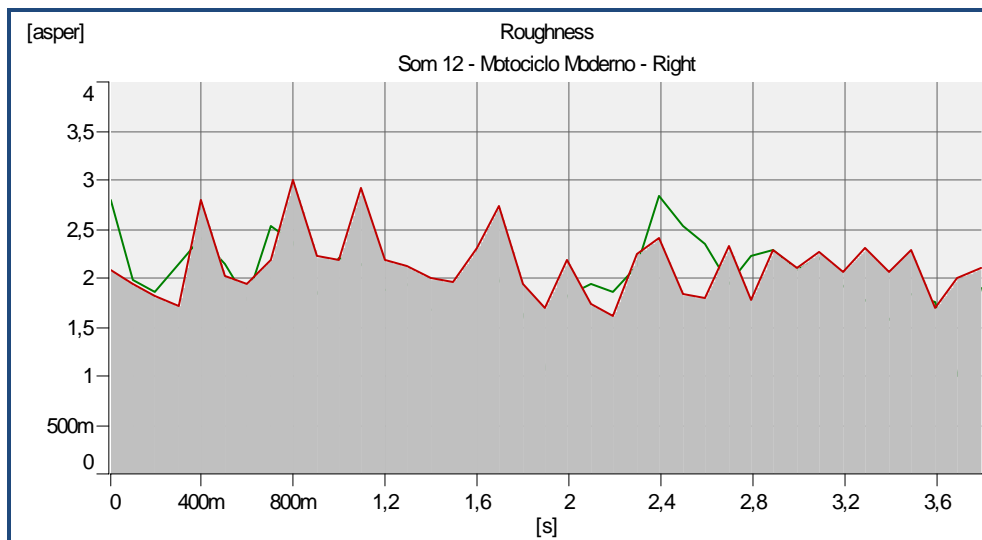


Figura 5.72 – Espectro da *rugosidade* em função do tempo do Som 12 (Passagem de motociclo)

Na Tabela 5.1 apresenta-se para cada som os valores medidos do nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação em malha A, tendo a reprodução dos sons sido efectuada mediante auscultadores, utilizando-se para o efeito um ouvido artificial.

Quadro 5.1 – Níveis sonoros em dB(A), emitidos por cada auscultador

Som	Auscultador	
	Esquerdo dB(A)	Direito dB(A)
1	66,8	68,3
2	77,4	76,4
3	73,9	72,9
4	75,8	73,9
5	72,1	71,3
6	67,5	68,3
7	77,5	73,5
8	69,1	70,3
9	77,5	76,2
10	61,9	62,5
11	79,3	79,8
12	60,1	58,9

No Anexo 5, são apresentados, para cada um dos sons, os resultados obtidos directamente pelo programa *Pulse Sound Quality* versão 14 da Bruel e Kjaer. Também para cada som, são indicados os valores dos parâmetros psicoacústicos: *sensação de intensidade auditiva*, *agudeza*, e correspondentes valores estatísticos (nível percentil de 5%, 10% e 50%, valores máximos e mínimos e desvio padrão associado); *rugosidade* e *força de flutuação* (valores médios). No Anexo 5, também são apresentados os valores do nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação A, B, C e linear, correspondente a cada registo áudio, bem como o nível máximo e o nível de pico.

5.2.3 Síntese da caracterização física e psicoacústica dos estímulos sonoros

Na Tabela 5.2 apresenta-se uma súmula dos aspectos principais relativos a cada um dos 12 sons que integram o inquérito para a avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de ruído de tráfego rodoviário.

Tabela 5.2 – Síntese da caracterização dos estímulos sonoros

Som 1: Passagem de um autocarro	
<p>O espectro do nível de pressão sonora por bandas de terços de oitava é dominado pelas componentes de baixa frequência (até 250 Hz). Este facto, também é visível pela análise do gráfico correspondente à <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica (banda crítica de 1 Bark, aparece destacada das restantes). Note-se também a importância da região compreendida entre as bandas de 6 e 10 Bark (entre 600 e 1000 Hz).</p> <p>O espectro da sensação de intensidade auditiva total, que apresenta um valor médio aproximadamente igual a 20 sone.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 2 acum;</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 2,3 asper.</p>	
Som 2: Passagem de um avião	
<p>O espectro de terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, é dominado pela gama das baixas e médias frequências (até aos 1250 Hz), no entanto também existem componentes com intensidade mais elevada, na banda de terço de oitava centrada na frequência de 8000 Hz. Este facto também é visível no espectro da sensação de intensidade auditiva por banda crítica, no qual se destacam as bandas de 3 Bark, e no domínio bandas mais elevadas, a banda de 21 Bark.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 2,4 acum.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 1,8 asper.</p>	
Som 3: Passagem de um comboio	
<p>O espectro em terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo é, tal como no caso anterior, dominado pela gama das baixas e médias frequências, existindo componentes na gama dos 8000 Hz, cuja intensidade é significativa. No espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, destacam-se a banda de 3 Bark, neste caso, a intensidade na banda de 21 Bark, já não é tão significativa.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 2,4 acum.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 1,5 asper.</p>	
Som 4 – Tráfego rodoviário na VCI	
<p>No espectro em terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, a maior intensidade está associada às frequências centrais de 63 e 125 Hz. No entanto, o espectro deste sinal também é rico na gama das frequências médias (500 Hz). A análise da Figura 5.20, valida o facto anteriormente descrito, verificando-se uma significância da <i>sensação de intensidade auditiva</i> na banda de 1 Bark, e depois, uma significância, não tão acentuada como a anterior, na banda de 6 Bark.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 2 acum.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 1,7 asper</p>	
Som 5: Passagem de um eléctrico antigo	
<p>No espectro do nível de pressão sonora por bandas de terços de oitava é dominado constata-se a existência de componentes com intensidade mais elevada, na gama de frequências compreendida entre as bandas de terços de oitava centradas nas frequências de 31,6 e 1500 Hz. O mesmo se verifica, no gráfico da <i>sensação de intensidade auditiva</i> para as bandas</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 1,6 acum;</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 2,7 asper.</p>	

Tabela 5.2 – Síntese da caracterização dos estímulos sonoros (cont.)

Som 6: Tráfego rodoviário no Cais do Sodré	
<p>É nas bandas centradas nas frequências entre os 31,5 e 63 Hz, que ocorre uma maior intensidade sonora, para O espectro de terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, seguindo-se depois a região compreendida entre os 125 e 1250 Hz. Verifica-se uma significância da sensação de intensidade auditiva na banda de 1 Bark, e depois, uma significância, não tão acentuada como a anterior, nas bandas compreendidas entre os 4 e 10 Bark.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 1,9 acum.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 1,3 asper.</p>	
Som 7: Passagem de motociclo ruído de escape significativo	
<p>No espectro por bandas de terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, são as bandas associadas às frequências centrais de 31,5, 63 e 500 Hz que apresentam maior intensidade. No espectro da intensidade auditiva por banda crítica, verifica-se uma significância das bandas de 2 e 5 Bark.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 2 acum.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 2 asper.</p>	
Som 8: Tráfego rodoviário na 2ª circular	
<p>No espectro em terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, constata-se que a maior intensidade espectral está associada às bandas de terços de oitava compreendidas entre as frequências de 63 e 1250 Hz. No espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i>, por banda crítica, verifica-se uma significância do sinal nas bandas de 6 e 11 Bark.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 2 acum.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 1,8 asper</p>	
Som 9: Tráfego rodoviário na Rua do Ouro	
<p>No espectro do nível de pressão sonora por bandas de terços de oitava, constata-se que a maior intensidade do espectral está associada às bandas de terço de oitava centradas nas frequências compreendidas entre 63 e 2000 Hz. No espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i>, por banda crítica, verifica-se uma significância do sinal nas bandas inferiores a 3 Bark, seguidamente nas bandas críticas entre os 6 e 10 Bark, e com menor intensidade na banda dos 21 Bark.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 2 acum;</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 1,7 asper.</p>	
Som 10: Passagem do metro do Porto	
<p>No espectro do nível de pressão sonora por bandas de terços de oitava, constata-se que as intensidades mais elevadas estão associadas as bandas de terços de oitava centradas nas frequências de 63 e 1000 Hz. No espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i>, por banda crítica é na banda crítica de 9 Bark que corresponde uma maior sensação de intensidade auditiva.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 1,8 acum.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 1,8 asper.</p>	
Som 11: Passagem de um eléctrico moderno	
<p>No espectro por bandas de terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, são predominantes as bandas de terços de oitava inferiores à banda centrada na frequência de 1250 Hz, podendo-se visualizar no espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, uma significância nas bandas de 2 e 9 Bark.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 2,4 acum.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 1,6 asper.</p>	
Som 12: Passagem de motociclo	
<p>No espectro por bandas de terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, verifica-se que a intensidade mais elevada está associada à banda de terços de oitava centrada na frequência de 100 Hz, tendo o respectivo espectro valores significativos até à banda de terços de oitava centrada na frequência dos 2000 Hz. No espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, verifica-se uma significância das bandas de 1, 2 e 6 Bark.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i>: 2,4 acum.</p> <p>Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>rugosidade</i>: 1,6 asper</p>	

5.2.4 Metodologias para a selecção dos adjectivos descritores para as fontes sonoras

Na recolha bibliográfica efectuada não foi encontrada qualquer aplicação da técnica de diferencial semântico, em língua portuguesa, em que os objectos em análise sejam registos áudio. Deste modo, e como selecção dos pares de adjectivos que integram a escala do diferencial semântico é crucial para a análise dos resultados, optou-se por fasear esta selecção na seguinte sequência de procedimentos.

Em primeiro lugar, foi efectuada uma pesquisa bibliográfica com o objectivo de identificar palavras utilizadas para descrição de sons e do ruído de tráfego, essencialmente em língua inglesa e francesa. Os adjectivos assim identificados foram classificados de acordo com o respectivo contexto de aplicação e os que se apresentaram como determinantes para o estudo em questão foram traduzidos para português. De seguida, foi solicitado a especialistas em Acústica uma listagem de adjectivos identificadores de ruído de tráfego. Em último lugar, a partir da audição do conjunto de sons que compõem este inquérito, foi solicitado a um conjunto de voluntários (cerca de vinte) que identificassem adjectivos mais relevantes para a correspondente percepção associada à audição dos sons apresentados. No entanto, esta tarefa não se revelou fácil, mas com a revisão de todos pares de adjectivos encontrados até esta altura, foi possível a selecção dos 21 pares de adjectivos antónimos, que se apresentam na Figura 5.40.

5.2.5 Metodologia e estrutura do inquérito

Participaram neste inquérito um total de 132 indivíduos, de ambos os sexos, com idades compreendidas entre os 20 anos e 50 anos. A participação destes indivíduos foi de carácter voluntário, não existindo qualquer renumeração associada. Os participantes eram alunos universitários de várias instituições (Faculdade de Engenharia da Universidade Católica, Instituto Piaget, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, e Universidade Lusíada), alunos de cursos de formação do LNEC e da Ordem dos Arquitectos, e alguns funcionários do LNEC que se voluntariaram para a referida participação.

Os sons foram reproduzidos com recurso a uma apresentação em *Microsoft Power Point*, utilizando-se para o efeito altifalantes. Nas Figuras 5.73 e 5.74 é possível visualizar

alguns diapositivos desta apresentação. A duração total do inquérito para a apresentação dos 12 registos sonoros foi de cerca de 45 minutos. Antes de iniciar o preenchimento das fichas de resposta, foi sempre efectuado um pré-teste, de modo a familiarizar os entrevistados com os sons que seriam reproduzidos e com os 21 pares de adjectivos a classificar, bem como o modo de preenchimento da ficha de resultados. Como o inquérito decorreu em diversas salas, foi utilizado um som de referência, constituído por ruído rosa, de modo a ajustar o volume dos altifalantes em cada sala. Cada sessão foi iniciada com o ajuste do volume dos altifalantes, no ponto central da sala, de modo a obter-se o mesmo valor de nível sonoro.



Figura 5.73 – Diapositivo de apresentação dos 12 sons aos inquiridos

Instruções									
Desagradável	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Agradável	
Agudo	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Grave	
Contínuo	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Descontínuo	
Alto	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Baixo	
Aceitável	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Inaceitável	
Calmante	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Irritante	
Constante	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Inconstante	
Áspero	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Suave	
Incómodo	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Cómodo	
Abafado	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Estridente	
Fraco	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Forte	
Confortável	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Desconfortável	
Monótono	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Variado	
Supportável	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Insupportável	
Ruidoso	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Ameno	
Escante	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Aborrecido	
Estável	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Instável	
Escuro	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Claro	
Duro	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Suave	
Regular	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Irregular	
Harmonioso	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Desarmónico	

Figura 5.74 – Pares de adjectivos antónimos utilizados na escala do diferencial semântico

5.3 Desenvolvimento do inquérito para a avaliação da percepção de medidas de minimização de ruído

5.3.1 Introdução

O inquérito sócio-acústico, desenvolvido no âmbito deste trabalho para a avaliação da percepção das medidas de minimização de ruído, compreendeu duas partes distintas. A

primeira parte integrava um questionário, com perguntas fechadas, em que foram avaliados diversos factores associados ao contexto sócio demográfico, tipo de residência e sua estrutura, exposição sonora e incomodidade induzida pelo ruído (questão normalizada segundo a publicação da ISO referenciada por ISO/TS 1566, a que corresponde a versão portuguesa NP 4476:2008). Neste questionário também foi avaliada a sensibilidade ao ruído dos inquiridos, assim como a avaliação dos principais efeitos induzidos pelo ruído e do tipo de estratégias para lidar com a incomodidade ao ruído (estratégias de *coping*). A segunda parte do questionário consistia na audição de registos áudio, que foram seleccionados a partir das gravações realizadas durante as várias visitas de campo efectuadas. A sequência de audição dos registos foi estruturada de acordo com o tipo de medida de minimização: barreira acústica, pavimentos com características de absorção sonora ou diferentes velocidades de circulação.

Os sons relativos aos registos áudio para as barreiras acústicas, foram recolhidos a uma distância de 2 m da barreira e a uma altura de 1,5 m do solo. Foram utilizados sons gravados por detrás de barreiras acústicas absorventes, designadas como “barreiras verdes”, uma vez que favorecem o crescimento de vegetação, que as reveste por completo (Som 1); sons gravados por detrás de barreiras acústicas constituídas por painéis metálicos perfurados absorventes (Som 2), sons gravados por detrás de barreiras acústicas constituídas por painéis metálicos reflectores, entre os quais existe a interposição de painéis acrílicos (Som3) e sons gravados por detrás de barreiras acústicas constituídas por painéis acrílicos. Uma vez que este tipo de medida de minimização de ruído apresenta características de intrusão visual, foi também integrada a apreciação visual das barreiras acústicas, mediante a apresentação das respectivas fotografias e solicitação da correspondente classificação em termos de estética e de eficácia espectável. Finalmente, foi efectuada a audição dos registos áudio, acompanhados pela fotografia correspondente, e solicitada a respectiva classificação, tendo em conta a eficácia apercebida para cada barreira. No que respeita a barreiras acústicas, foi também solicitada a atribuição do grau de preferência para dois sons que foram registados simultaneamente, um recolhido na região de sombra da barreira (Som A) e o outro sem a influência da atenuação sonora conferida por esta medida (Som B).

Relativamente à avaliação da utilização de um pavimento com características absorventes sonoras, foram gravados registos áudio associados à passagem de um mesmo veículo ligeiro (da marca Ford e modelo Focus, a gasóleo) em diferentes tipos de

pavimento, com uma velocidade de passagem de 80 km/h. Neste caso e tendo em conta a dificuldade humana na ordenação de sons com características muito idênticas, foi solicitado aos participantes a comparação entre o som da passagem do veículo num pavimento de betão betuminoso denso (também designado por pavimento de referência, segundo a norma ISO 11819-1:1997), e o som da passagem do mesmo veículo e à mesma velocidade nos pavimentos com características de absorção sonora seleccionados neste estudo, designadamente pavimento betuminoso drenante, pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa), pavimento em betão betuminoso rugoso e pavimento betuminoso em microbetão.

No que respeita à velocidade de circulação dos veículos, foram apresentados aos inquiridos registos áudio referentes à circulação do mesmo veículo ligeiro num pavimento drenante, com velocidades de circulação de 60, 80 e 100 km/h, e num pavimento de betume modificado de borracha para velocidades de 60 e 100 km/h. Neste caso, solicitou-se ao inquerido a ordenação dos sons, de acordo com o grau de agradabilidade; em primeiro lugar para os registos associados ao pavimento drenante e em segundo lugar, para os registos associados ao pavimento de betume modificado de borracha.

A apresentação de sons foi efectuada por meio de auscultadores e para além da parte de audição dos registos, foi também solicitado o preenchimento de um questionário. A duração total do inquérito rondou os 45 minutos.

5.3.2 Caracterização física e psicoacústica das medidas de minimização

Para cada um dos sons que integraram a segunda parte deste inquérito, foram obtidos os correspondentes gráficos de evolução de alguns parâmetros físicos e psicoacústicos que os caracterizam e que, em seguida, se apresenta. A análise em termos físicos englobou a determinação do espectro associado, por bandas de terço de oitava. No que respeita aos parâmetros psicoacústicos, foram obtidos os espectros da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, o espectro do valor total da *sensação de intensidade auditiva*, em função do tempo, e o espectro do parâmetro *agudeza* em função do tempo. No Anexo 6 podem ser consultados, para cada som, os resultados dos parâmetros *sensação de intensidade auditiva* e *agudeza*, e os correspondentes valores estatísticos (nível percentil

de 5%, 10% e 50%, valores máximos e mínimos e desvio padrão associado); *rugosidade* e *força de flutuação* (valores médios). No Anexo 6, também são apresentados os valores do nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação A, B, C e linear, correspondente a cada registo áudio, bem como o nível máximo e o nível de pico.

5.3.2.1 Barreiras Acústicas

Os gráficos das Figuras 5.75 a 5.78 apresentam os espectros associados ao Som 1 (barreira acústica). A Figura 5.75 apresenta o espectro em bandas de terço de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo do referido registo. Pela análise desta Figura, verifica-se uma maior intensidade associada às bandas de terços de oitava inferiores a 125 Hz e com menor intensidade, na região compreendida entre as bandas de terços de oitava de 250 a 2000 Hz. A Figura 5.76, correspondente ao espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, permite confirmar a significância da *sensação de intensidade auditiva* nas bandas de 1 Bark, podendo-se constatar que a *sensação de intensidade auditiva* se desenvolve principalmente entre as bandas de 3 e 9 Bark. A Figura 5.77 apresenta a evolução no tempo do espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, em função do tempo, para a qual corresponde um valor médio de 8,7 sone. Na Figura 5.78, apresenta-se a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, cujo valor médio é igual a 0,7 acum.

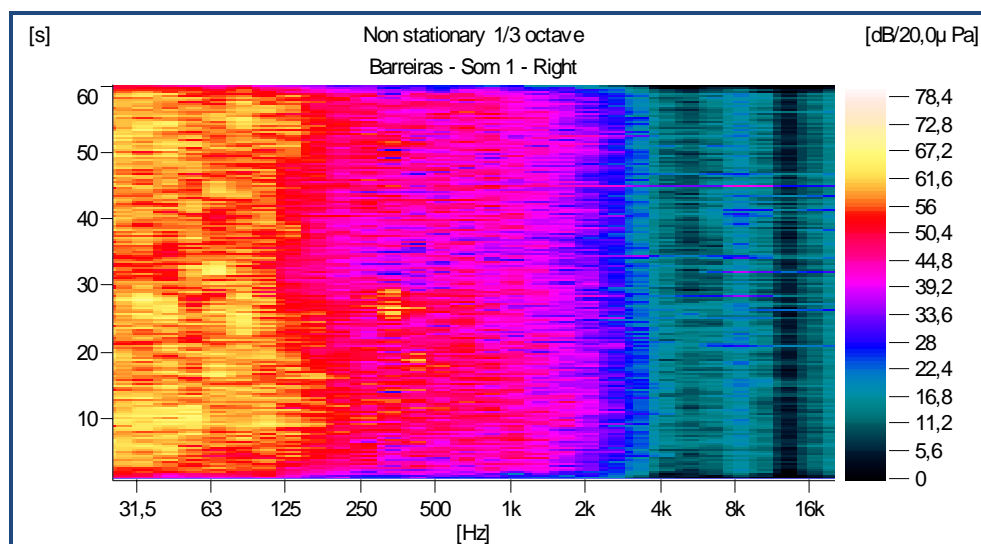


Figura 5.75– Espectro de bandas de terço de oitava do Som 1 (Barreiras)

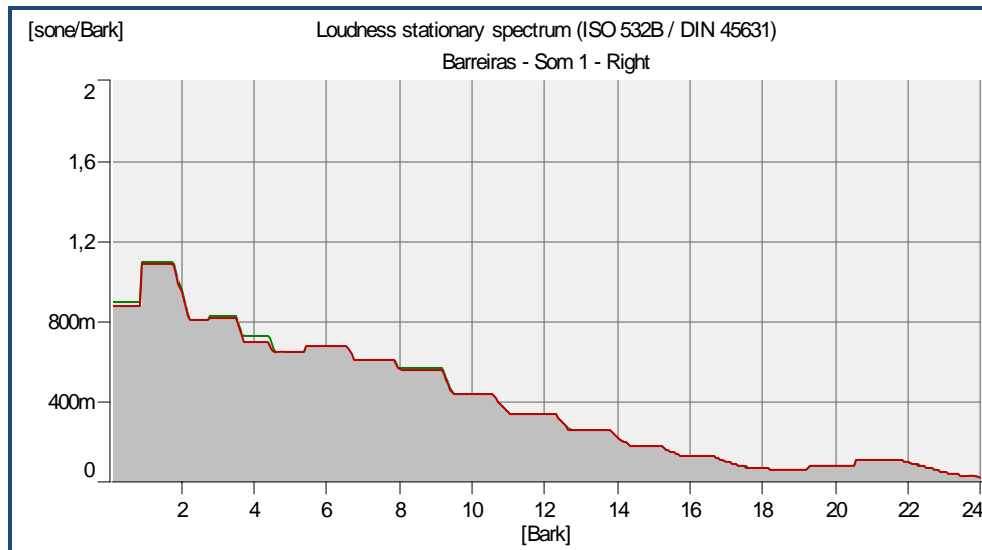


Figura 5.76– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica do Som 1 (Barreiras)

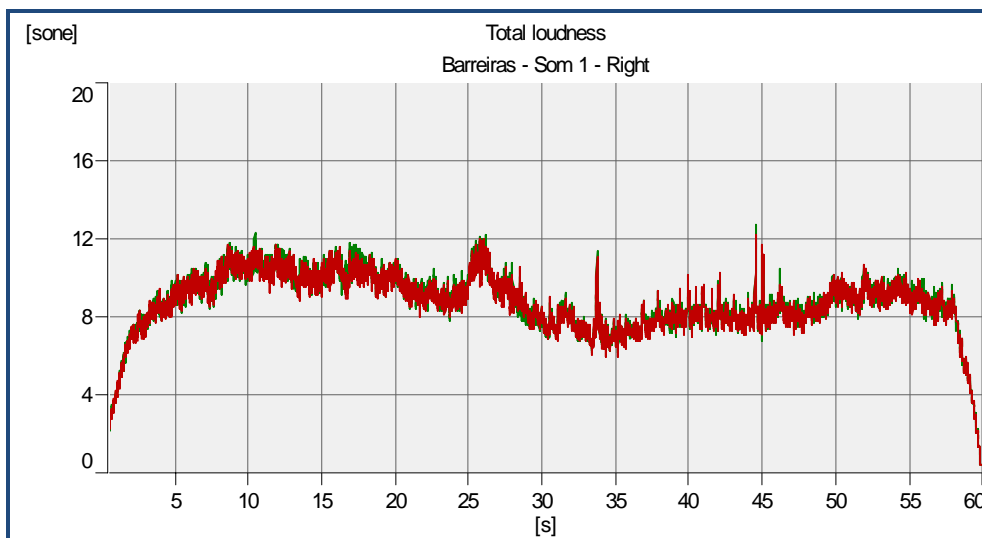


Figura 5.77 – Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 1 (Barreiras)

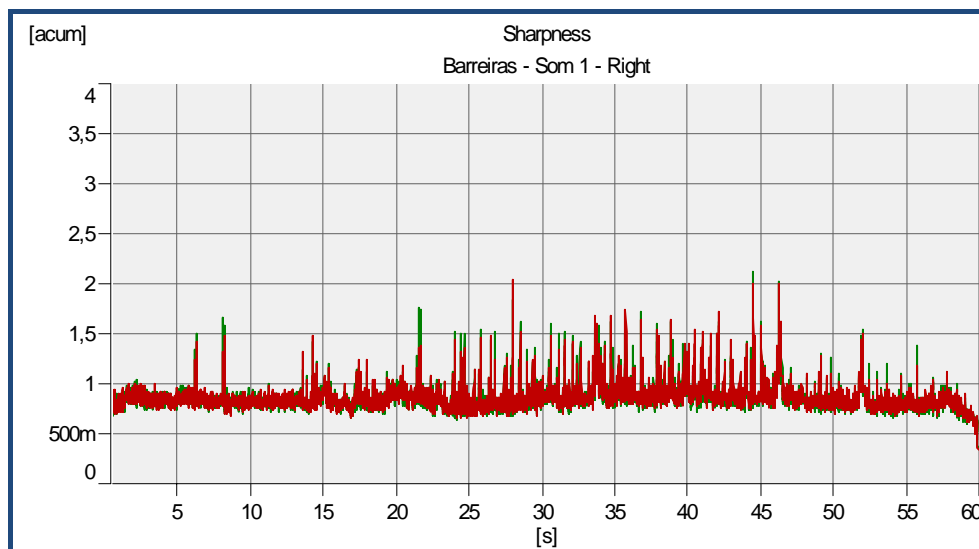


Figura 5.78 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 1 (Barreiras)

Relativamente ao Som 2 (barreiras), apresenta-se na Figura 5.79 o espectro por bandas de terço de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo do referido registo, em que é visível uma preponderância de intensidade do espectro na zona das bandas de terços de oitava inferiores a 200 Hz, estendendo-se esta influência, pontualmente, até aos 1250 Hz. De facto, na Figura 5.80, é possível constatar-se a saliência da *sensação de intensidade auditiva* nas bandas críticas de 1 e 2 Bark, e com menor intensidade, na de 9 Bark. A Figura 5.81 apresenta a evolução no domínio do tempo do espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, e para a qual corresponde um valor médio de 6,8 sone. Na Figura 5.82 apresenta-se a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, cujo valor médio é igual a 0,8 acum).

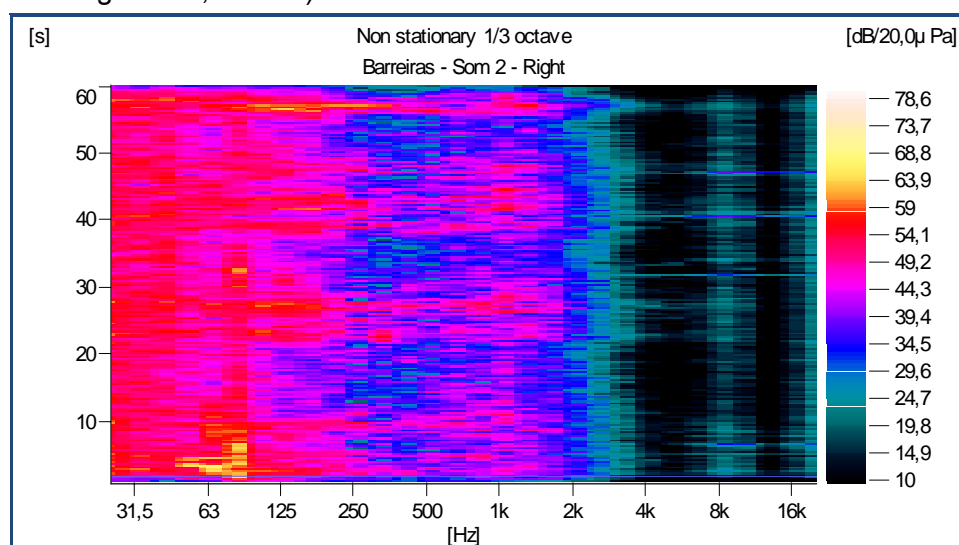


Figura 5.79– Espectro de bandas de terço de oitava do Som 2 – Barreiras

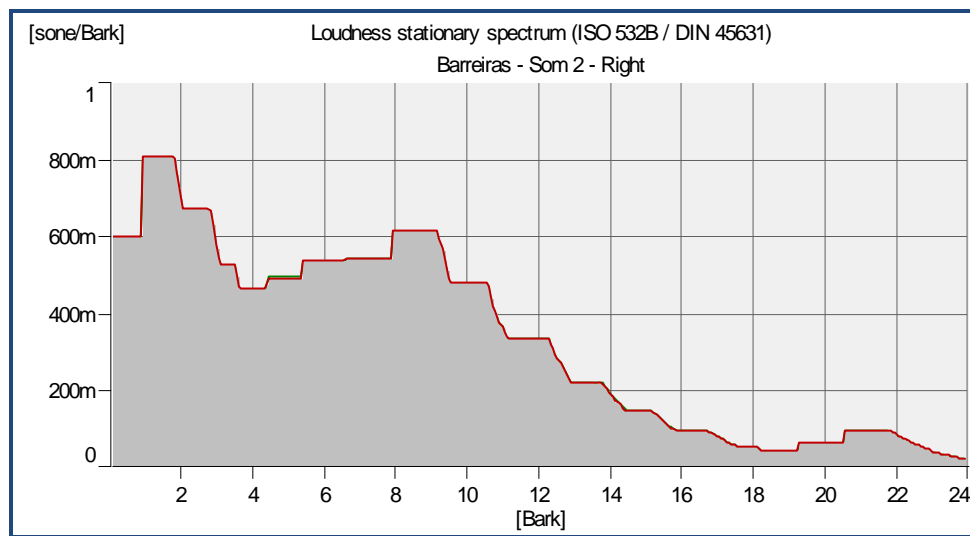


Figura 5.80– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica do Som 2 (Barreiras)

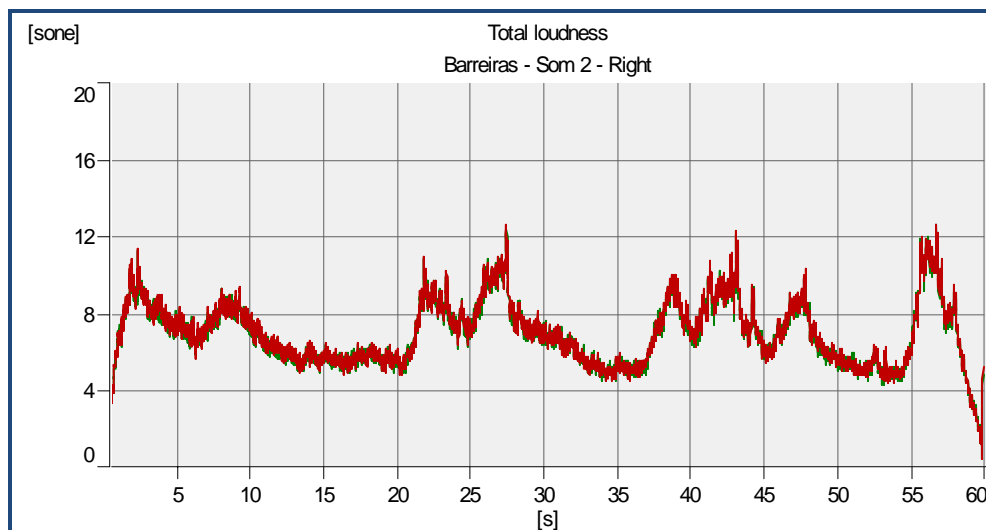


Figura 5.81 – Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 2 (Barreiras)

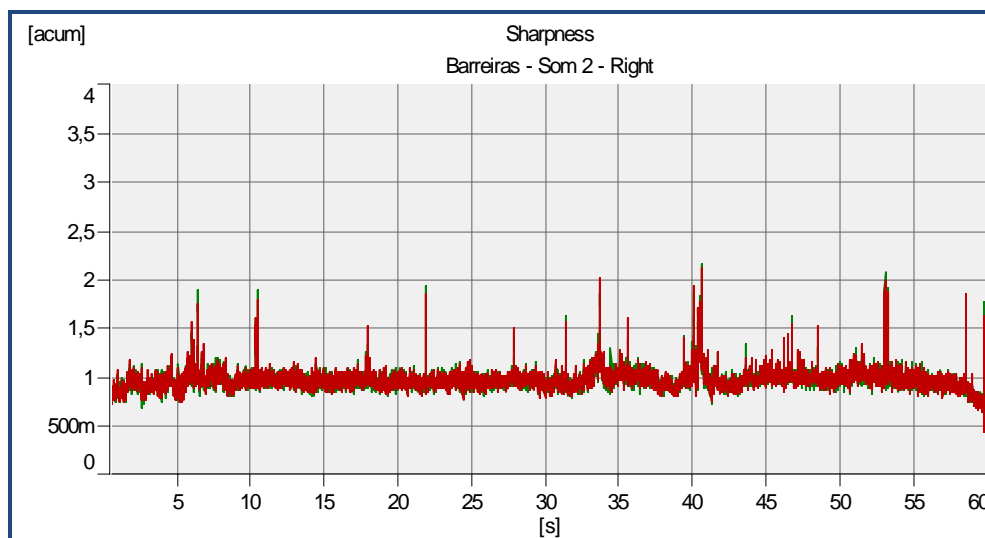


Figura 5.82 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 2 (Barreiras)

Relativamente ao Som 3 (barreiras), apresenta-se na Figura 5.83 o espectro por bandas de terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo do referido registo, em que é visível uma preponderância de intensidade do espectro zona das bandas de terços de oitava inferiores a 250 Hz, estendendo-se esta influência, pontualmente, até aos 1000 Hz. De facto, na Figura 5.84, é possível constatar-se a saliência das bandas críticas de 1, 2 e 9 Bark. A Figura 5.85 apresenta a evolução do espectro da *sensação de intensidade auditiva* total em função do tempo, e para a qual corresponde um valor médio de 9,7 sone. Na Figura 5.86, apresenta-se a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, cujo valor médio é igual a 0,8 acum.

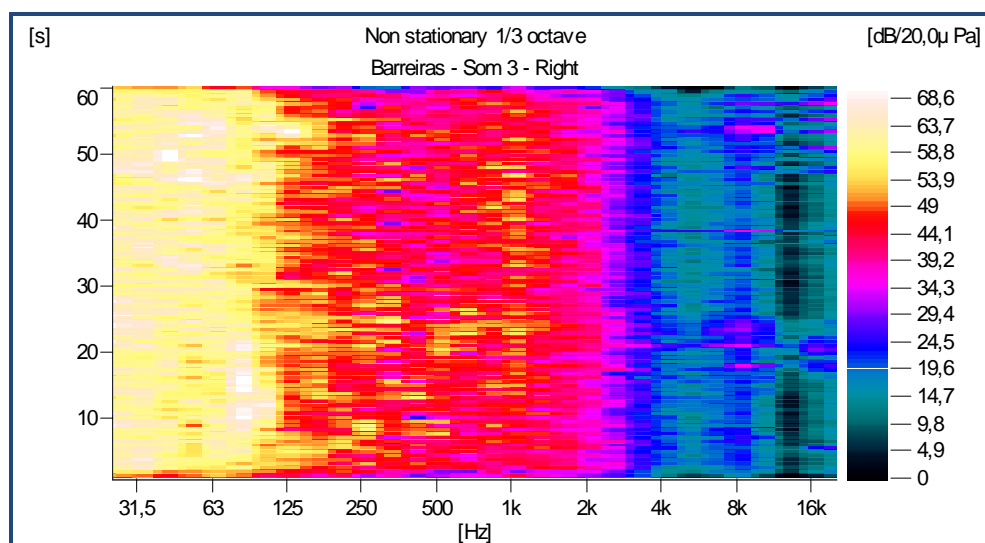


Figura 5.83– Espectro de bandas de terço de oitava do Som 3 (Barreiras)

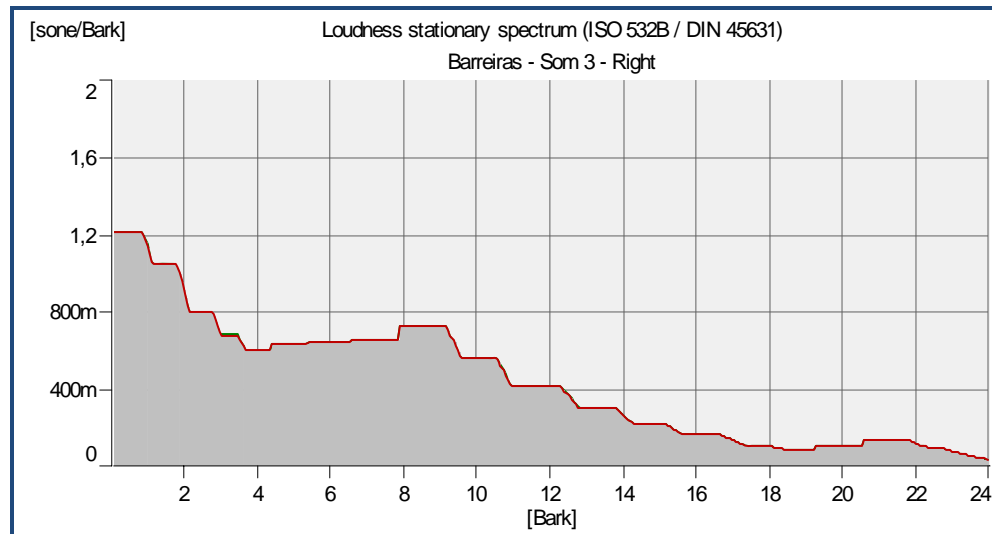


Figura 5.84– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica do Som 3 (Barreiras)

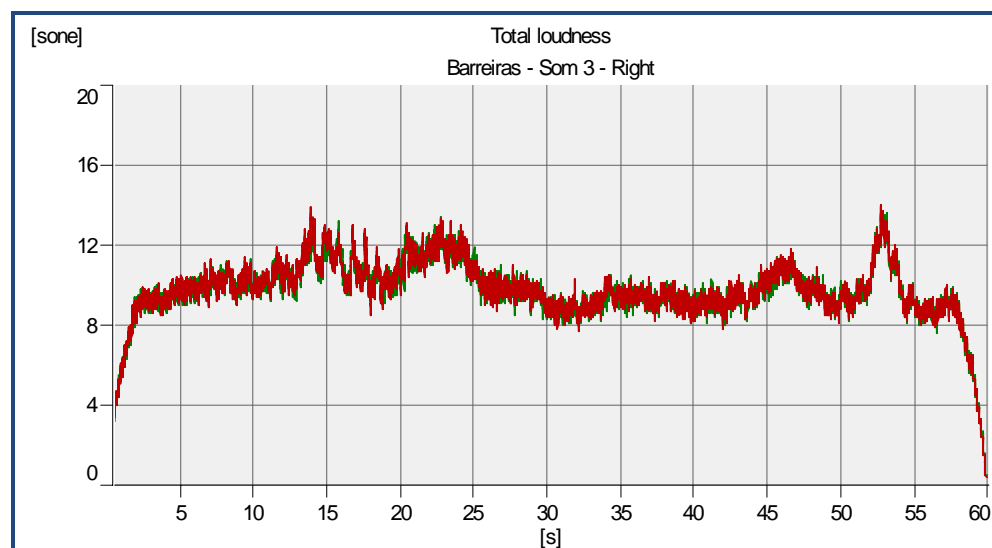
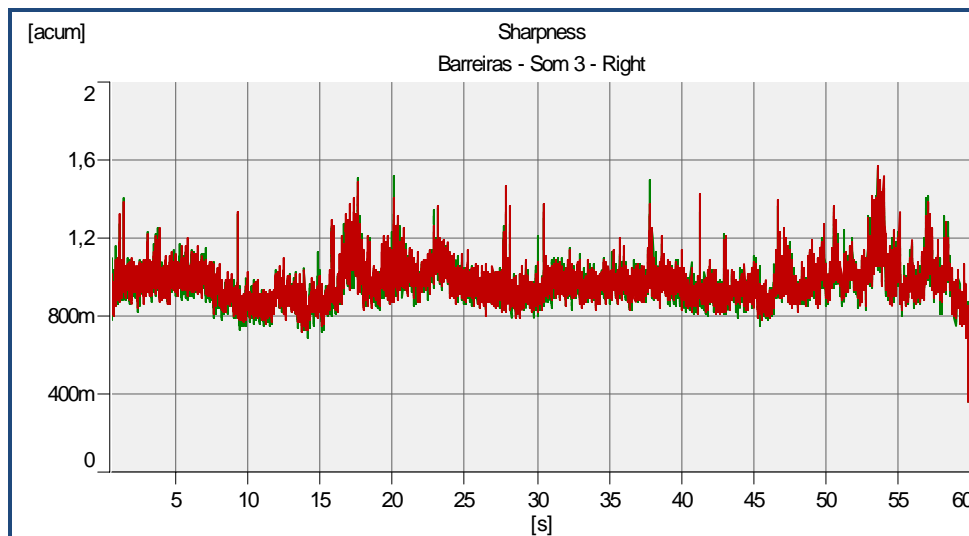


Figura 5.85 – Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 3 (Barreiras)

Figura 5.86 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 3 (Barreiras)

A Figura 5.88 apresenta o espectro por bandas de terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo do Som 4 (barreiras). Neste caso, é visível uma preponderância de intensidade do espectro na zona das bandas de terços de oitava inferiores a 200 Hz, que decresce até à região da banda de terços de oitava centrada na frequência de 2000 Hz. Na Figura 5.88, é possível constatar-se a *saliência da sensação de intensidade auditiva* nas bandas críticas de 1 e 2 Bark. A Figura 5.89 apresenta a evolução no tempo do espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, para a qual corresponde um valor médio de 6,3 sone. Na Figura 5.90 apresenta-se a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, cujo valor médio é igual a 0,8 acum.

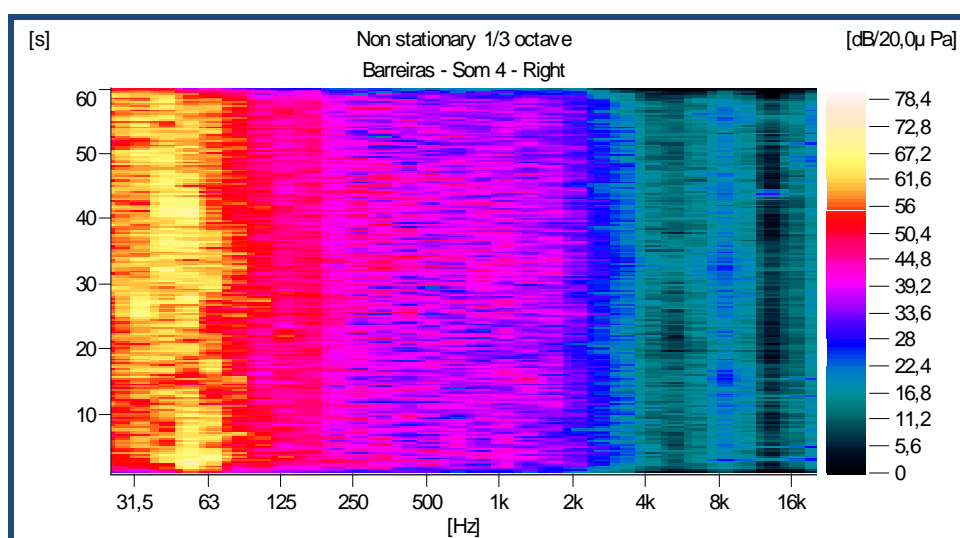


Figura 5.87– Espectro de bandas de terço de oitava do Som 4 (Barreiras)

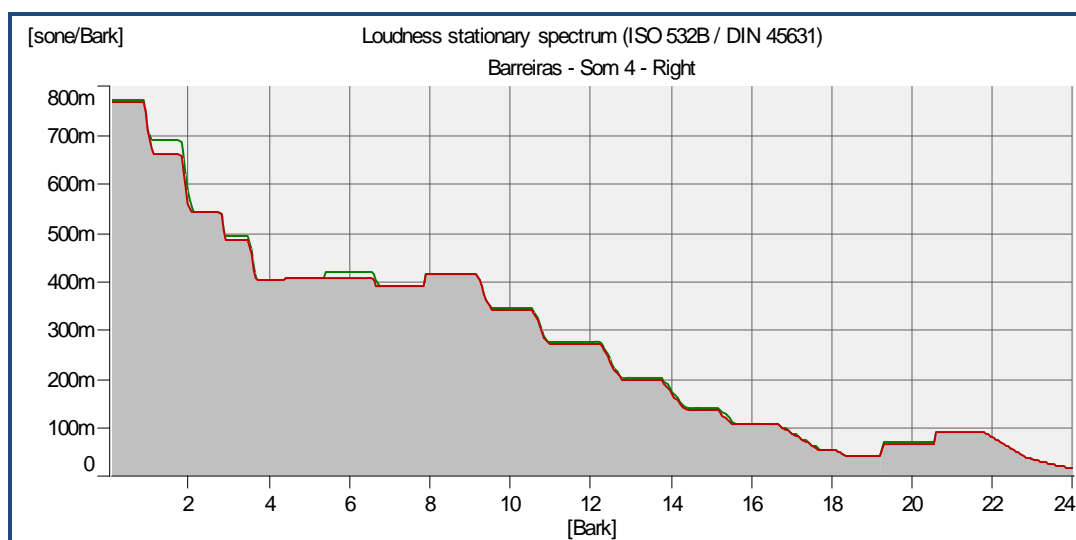


Figura 5.88 - Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica do Som 4 (Barreiras)

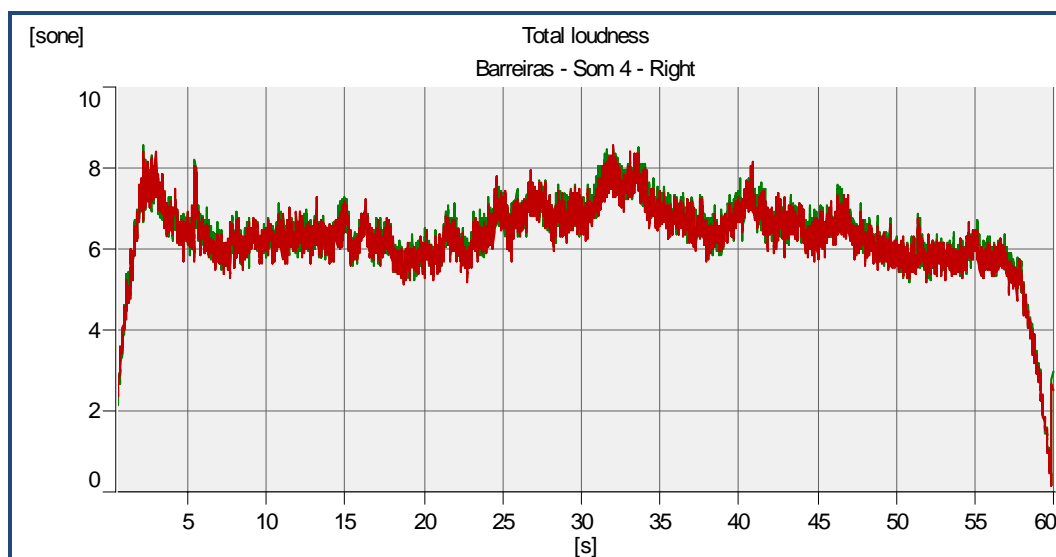
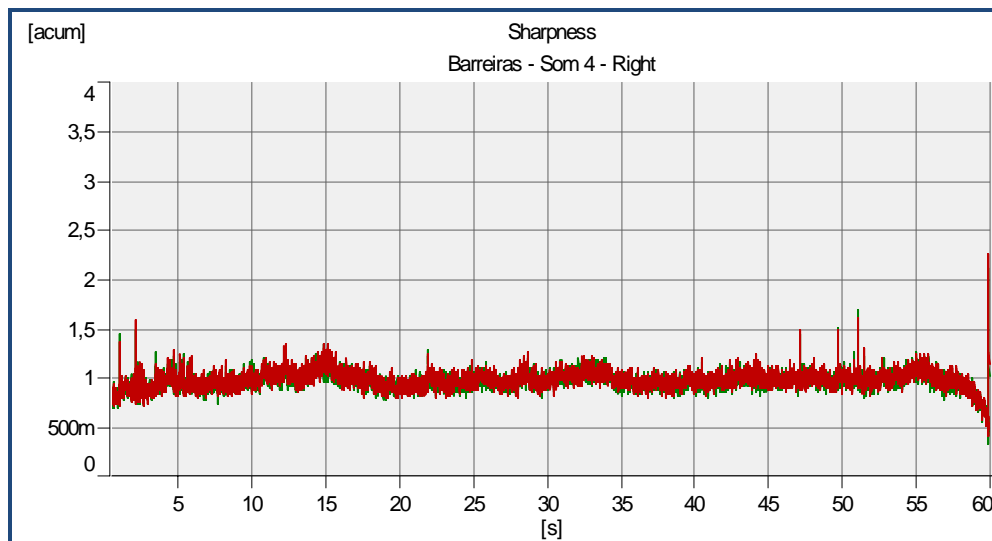


Figura 5.89 – Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total em função do tempo do Som 4 (Barreiras)

Figura 5.90 – Espectro da *agudeza* em função do tempo do Som 4 (Barreiras)

No que respeita à comparação entre dois sons, foram gravados simultaneamente, em dois locais distintos, dois registos, correspondendo o registo localizado na região de sombra da barreira (Som B), ao Som 1 (barreiras), vd. gráficos das Figura 5.75 a 5.78, e o segundo registo obtido a uma altura de 4,5 m do solo, de modo a que o efeito da barreira não introduzisse alterações na propagação sonora (Som A).

Comparando a Figura 5.91, com o espectro em bandas de terços de oitava representado na Figura 5.75, verifica-se que a barreira viabiliza uma diminuição de intensidade até à banda de terços de oitava centrada na frequência de 4000 Hz. Em termos de nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, a barreira acústica introduziu uma atenuação de 13 dB(A). Comparando os resultados das Figuras 5.76 e 5.92, verifica-se uma diminuição na *sensação de intensidade auditiva* da ordem de 0,8 sone até à banda crítica de 14 Bark e uma diminuição mais ligeira nas restantes bandas. A Figura 5.93 apresenta a evolução no tempo do espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, para a qual corresponde um valor médio de 8,6 sone. Na Figura 5.94, apresenta-se a evolução do parâmetro psicoacústico *agudeza*, em função do tempo, cujo valor médio é igual a 0,7 acum.

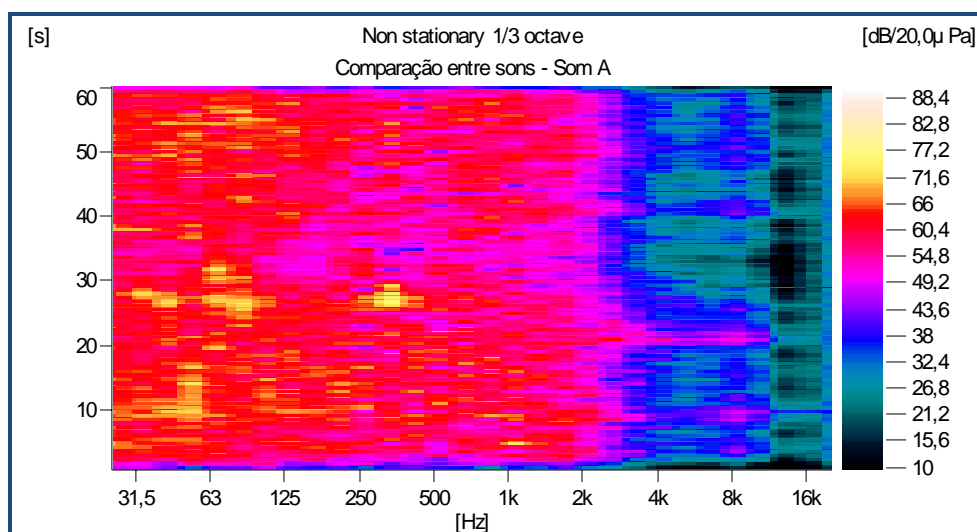


Figura 5.91– Espectro de bandas de terço de oitava, comparação entre sons (Som A)

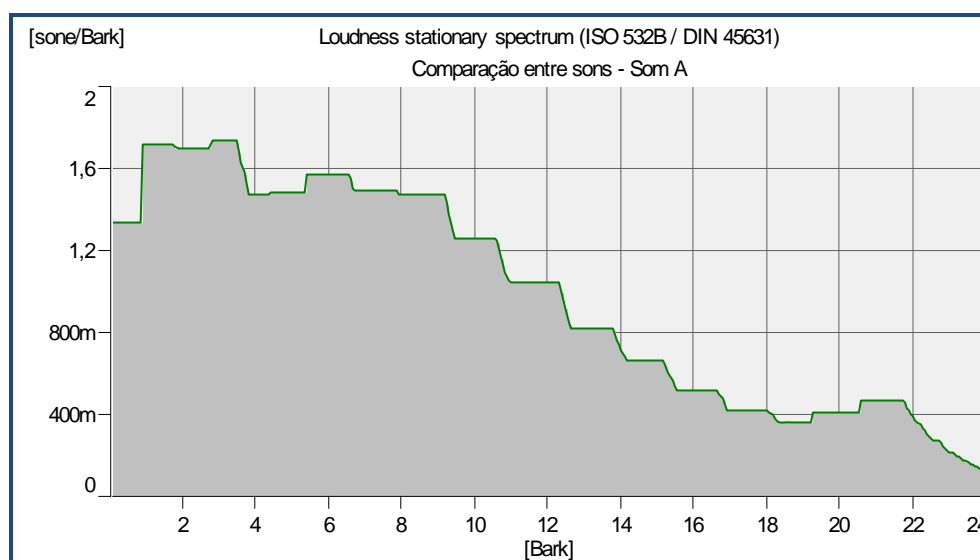


Figura 5.92– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, comparação entre sons (Som A)

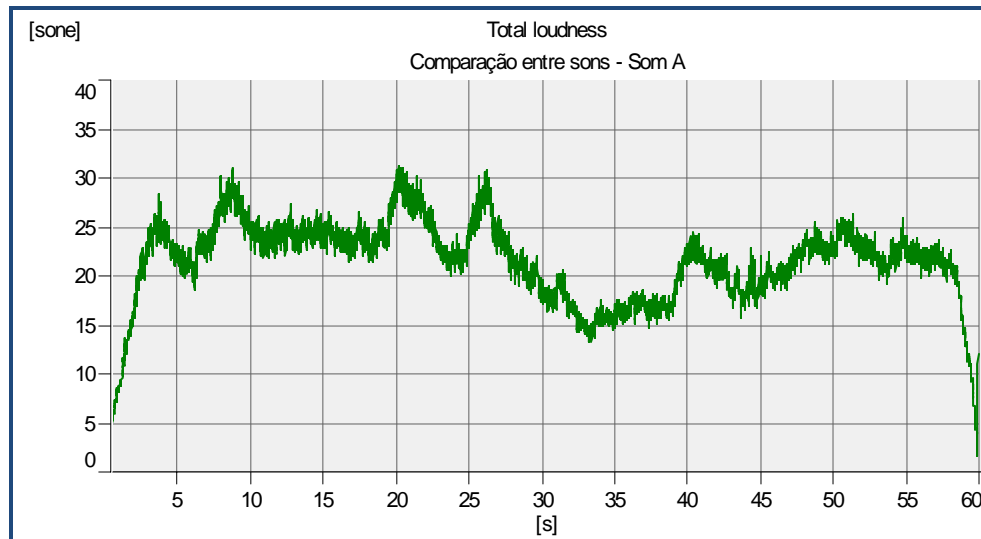


Figura 5.93 – Espectro da *sensação de intensidade auditiva* em função do tempo, comparação entre sons (Som A)

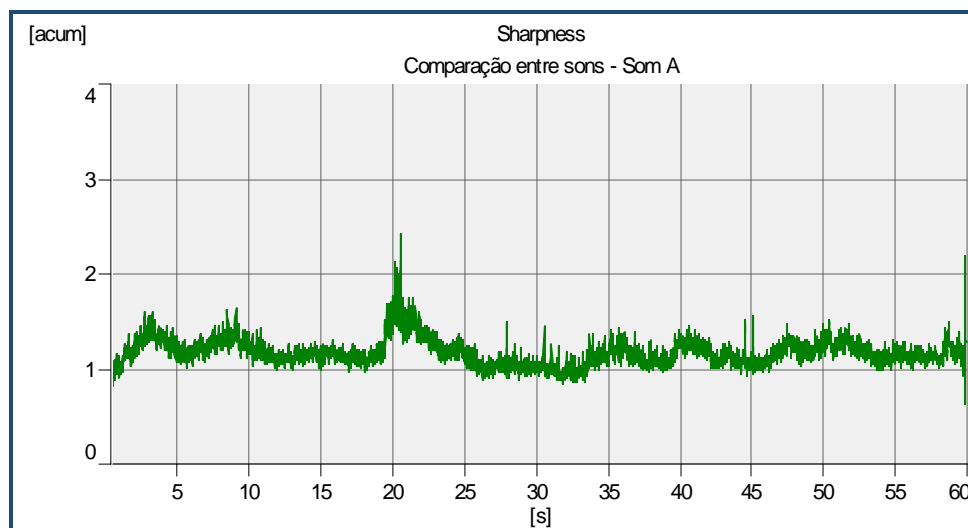


Figura 5.94 – Espectro da *agudeza* em função do tempo, comparação entre sons (Som A)

5.3.2.2 Pavimentos

Os gráficos das Figuras 5.95 a 5.98 apresentam o espectro por bandas de terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo (Figura 5.95), o espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica (Figura 5.96), a evolução da *sensação de intensidade auditiva* total (Figura 5.97) e *agudeza* (Figura 5.98), em função do tempo, correspondentes a 3 passagens de um veículo ligeiro, com uma velocidade de circulação de 80 km/h, num pavimento em betão betuminoso denso. Pela análise da Figura 5.95,

verifica-se uma maior intensidade nas bandas de terços de oitava na região entre os 800 e 1600 Hz, facto este, mais visível na Figura 5.96, em que se verifica uma maior intensidade nas bandas críticas de 8 e 9 Bark.

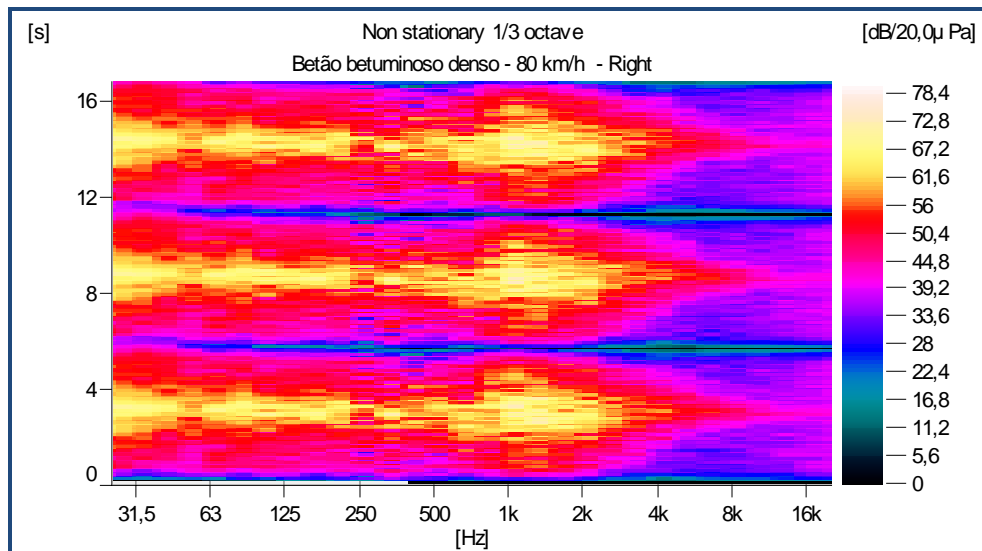


Figura 5.95– Espectro de bandas de terço de oitava de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso denso (velocidade de 80 km/h)

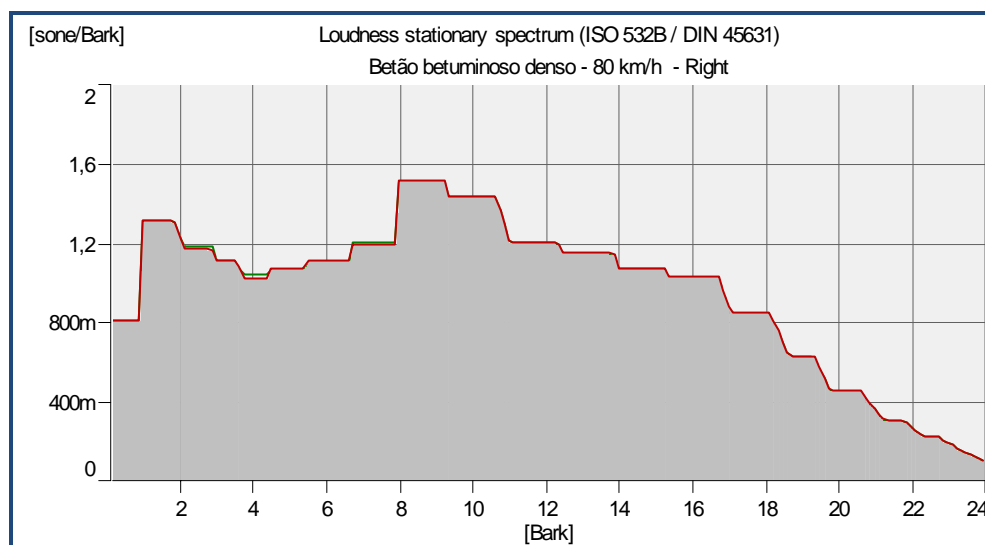


Figura 5.96– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso denso (velocidade de 80 km/h)

Note-se que a utilização de 3 passagens do mesmo veículo deriva da necessidade do registo sonoro ter uma duração suficientemente longa, dado que a passagem individual, com uma duração de aproximadamente 6 segundos, seria insuficiente para que um indivíduo não treinado a participar em testes psicoacústicos, conseguisse efectuar uma

avaliação sobre a percepção do estímulo sonoro. Na Figura 5.97, é possível identificar que o valor máximo da *sensação de intensidade auditiva* total é de cerca de 35 sones, enquanto que na Figura 5.98 se constata que o valor médio do parâmetro psicoacústico *agudeza*, é da ordem de 1,3 acum.

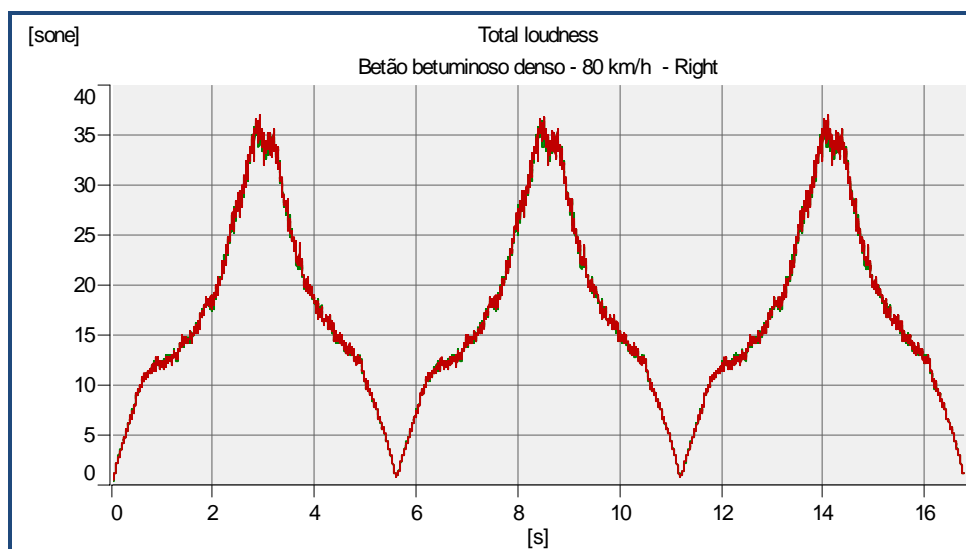


Figura 5.97– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso denso (velocidade de 80 km/h)

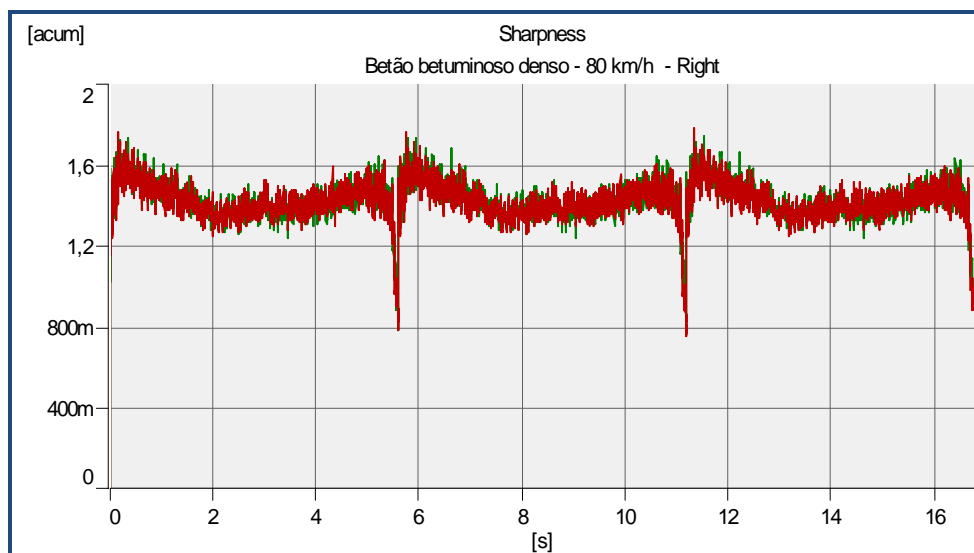


Figura 5.98– Espectro da *agudeza* em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso denso (velocidade de 80 km/h)

Os gráficos das Figuras 5.99 a 5.102 apresentam o espectro por bandas de terço de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo (Figura 5.99), o espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica (Figura 5.100), a evolução da

sensação de intensidade auditiva total (Figura 5.101) e a *agudeza* em função do tempo (Figura 5.102), correspondentes a 3 passagens de um veículo ligeiro, com uma velocidade de circulação de 80 km/h, num pavimento em betão betuminoso rugoso. Analisando a Figura 5.99, verifica-se uma maior intensidade das bandas de terços de oitava na região compreendida entre os 500 e 2000 Hz. No entanto, pela análise do gráfico da Figura 5.100, é possível constatar uma certa homogeneidade de valores compreendidos entre as bandas críticas de 6 e 12 Bark, não existindo qualquer banda saliente relativamente às anteriores.

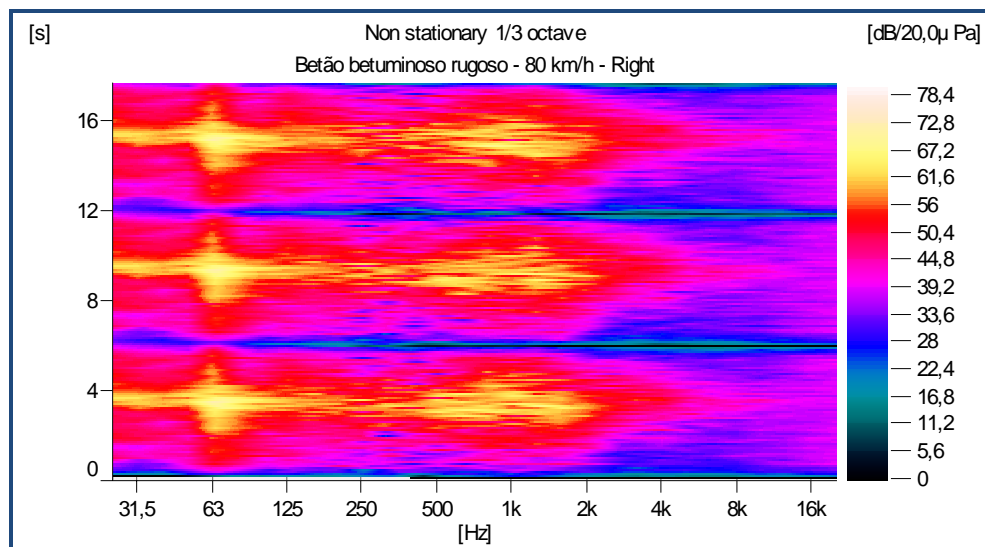


Figura 5.99– Espectro de bandas de terço de oitava de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso rugoso (velocidade de 80 km/h)

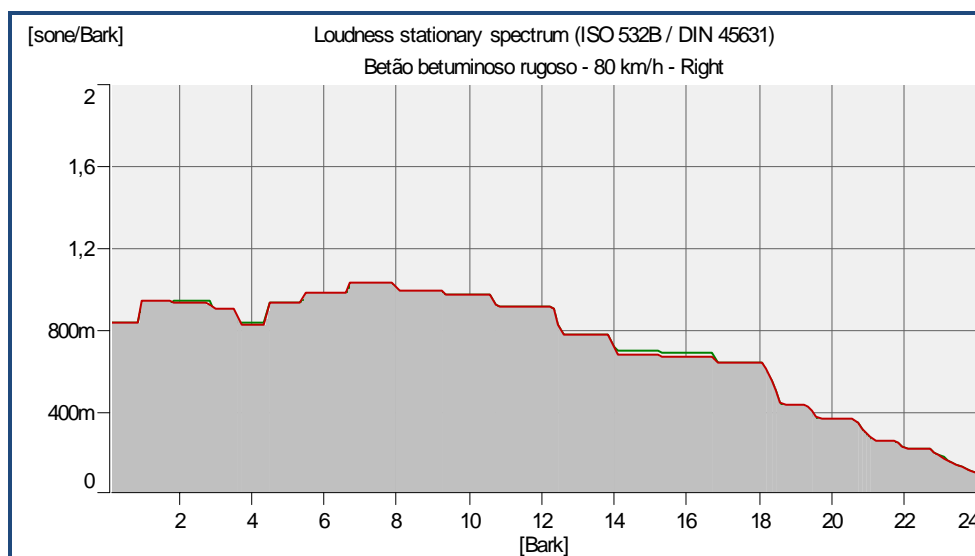


Figura 5.100– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso rugoso (velocidade de 80 km/h)

Na Figura 5.101 é possível identificar que o valor máximo da *sensação de intensidade auditiva total* é de cerca 26 sone, para a passagem do veículo no pavimento de betão betuminoso rugoso, enquanto que na Figura 5.102 se constata que o valor médio do parâmetro psicoacústico *agudeza* é da ordem de 1,5 acum.

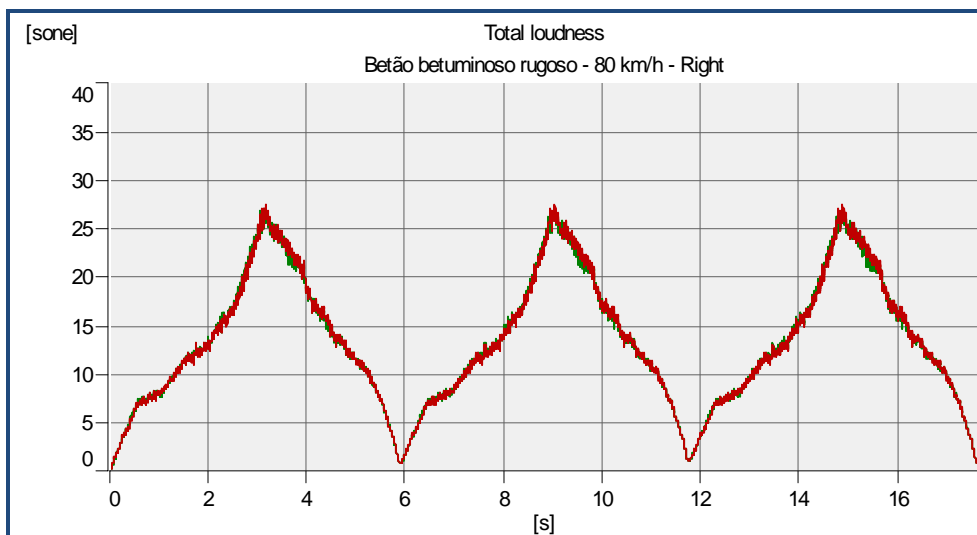


Figura 5.101- Espectro da *sensação de intensidade auditiva total*, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso rugoso (velocidade de 80 km/h)

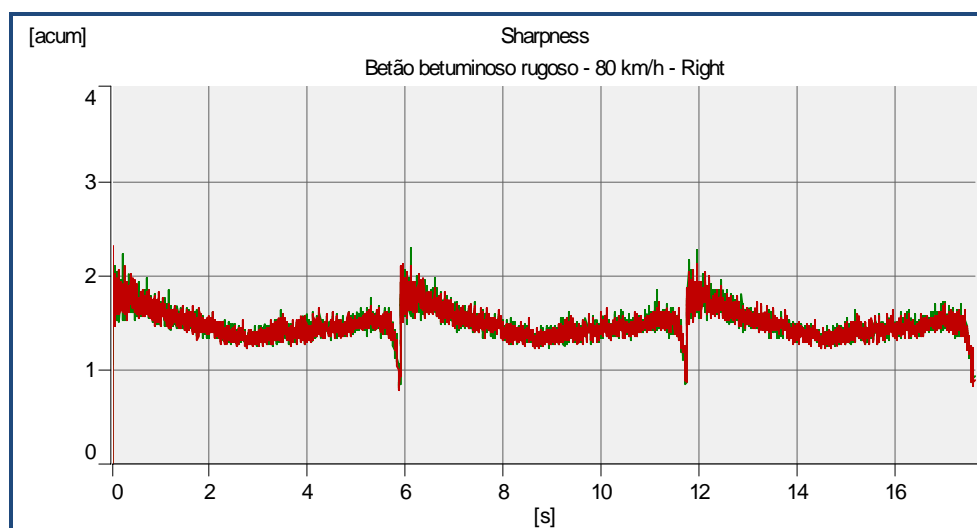


Figura 5.102- Espectro da *agudeza* em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento de betão betuminoso rugoso (velocidade de 80 km/h)

Os gráficos das Figuras 5.103 a 5.106 apresentam, tal como os anteriores, o espectro por bandas de terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, o espectro

da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, a evolução da *sensação de intensidade auditiva* total e a *agudeza*, em função do tempo, correspondentes as 3 passagens num pavimento de microbetão betuminoso. Analisando a Figura 5.103, verifica-se uma maior intensidade nas bandas de terço de oitava na região compreendida entre os 500 e 1000 Hz. Na Figura 5.104, é possível visualizar a preponderância da *sensação de intensidade auditiva* para a região compreendida entre as bandas críticas de 6 e 9 Bark.

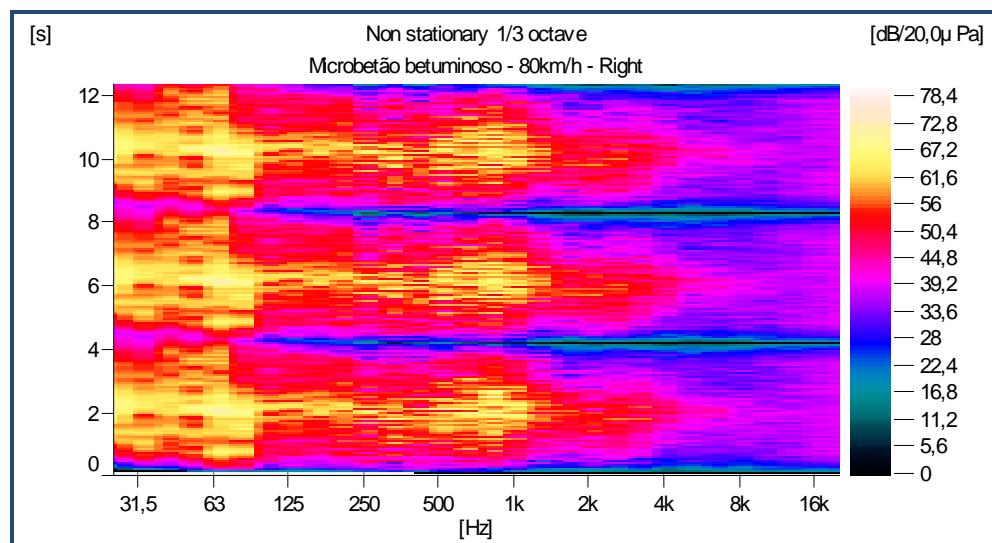


Figura 5.103– Espectro de bandas de terço de oitava de três passagens de um veículo num pavimento em microbetão betuminoso (velocidade de 80 km/h)

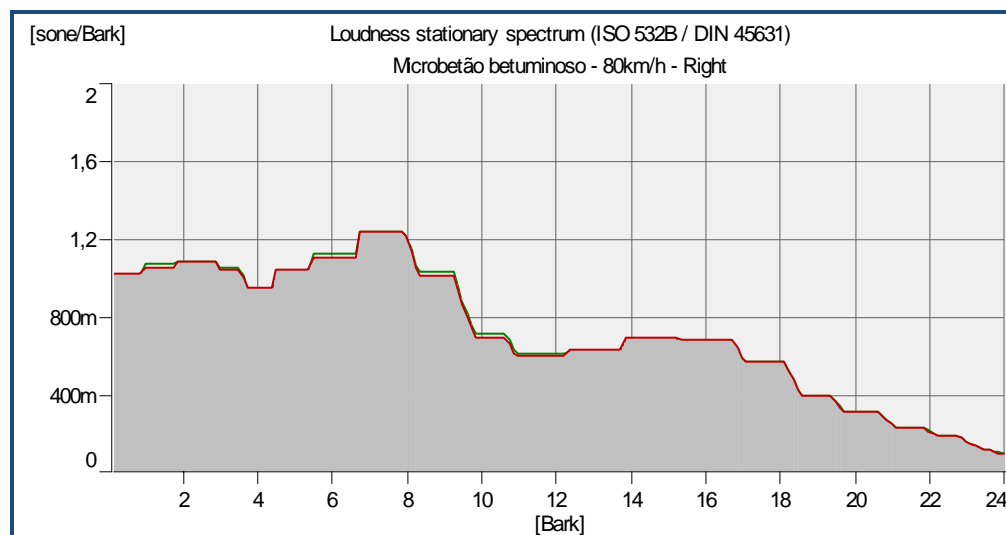


Figura 5.104– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, de três passagens de um veículo num pavimento em microbetão betuminoso (velocidade de 80 km/h)

Na Figura 5.105, é possível identificar que o valor máximo da *sensação de intensidade auditiva total* é de cerca 25 sone, para a passagem do veículo no pavimento de microbetão betuminoso. Na Figura 5.106, constata-se que o valor médio do parâmetro psicoacústico agudeza é da ordem de 1,4 acum.

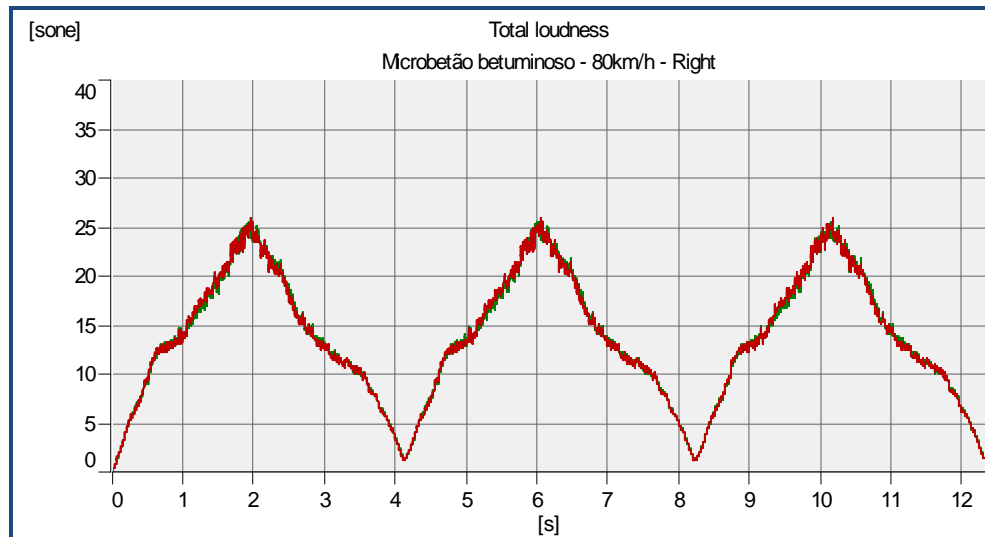


Figura 5.105 - Espectro da *sensação de intensidade auditiva total*, de três passagens de um veículo num pavimento em microbetão betuminoso (velocidade de 80 km/h)

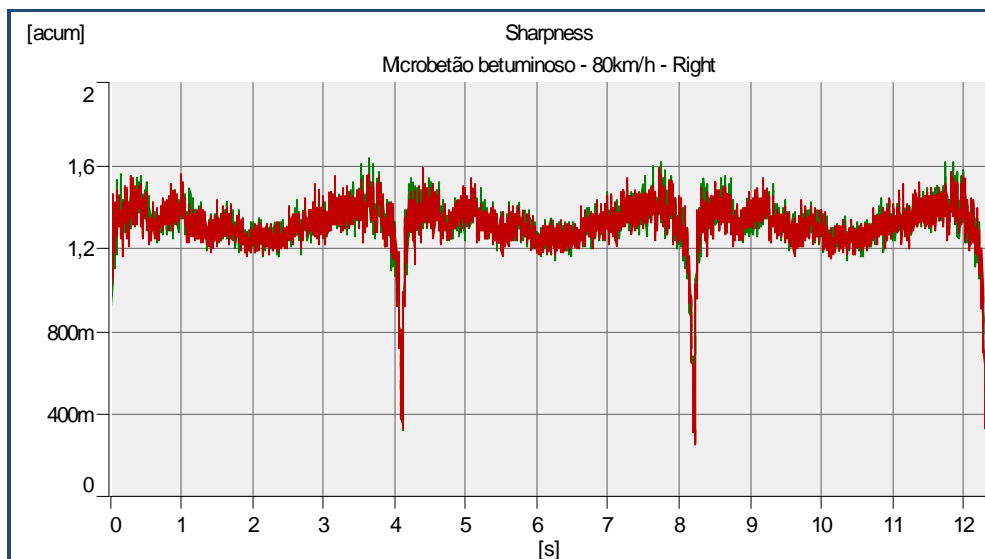


Figura 5.106– Espectro da *agudeza* em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento em microbetão betuminoso (velocidade de 80 km/h)

Para a passagem do veículo ligeiro num pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa), os gráficos das Figuras 5.107 a 5.110 apresentam, tal como os anteriores, o espectro por bandas de terço de oitava do nível de pressão sonora em

função do tempo, o espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, a evolução da *sensação de intensidade auditiva* total e a *agudeza* em função do tempo.

Na Figura 5.107, verifica-se uma certa homogeneidade na intensidade das bandas de terço de oitava até à frequência de 3000 Hz, facto este também presente na Figura 5.108, em que o valor da *sensação de intensidade auditiva* é de 14 Bark.

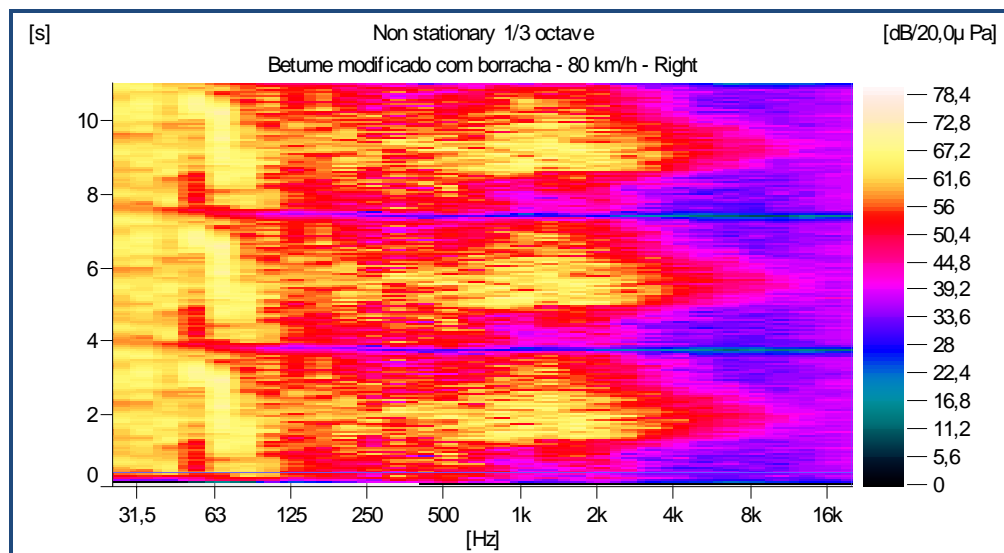


Figura 5.107– Espectro de bandas de terço de oitava de três passagens de um veículo num pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa), velocidade de 80 km/h

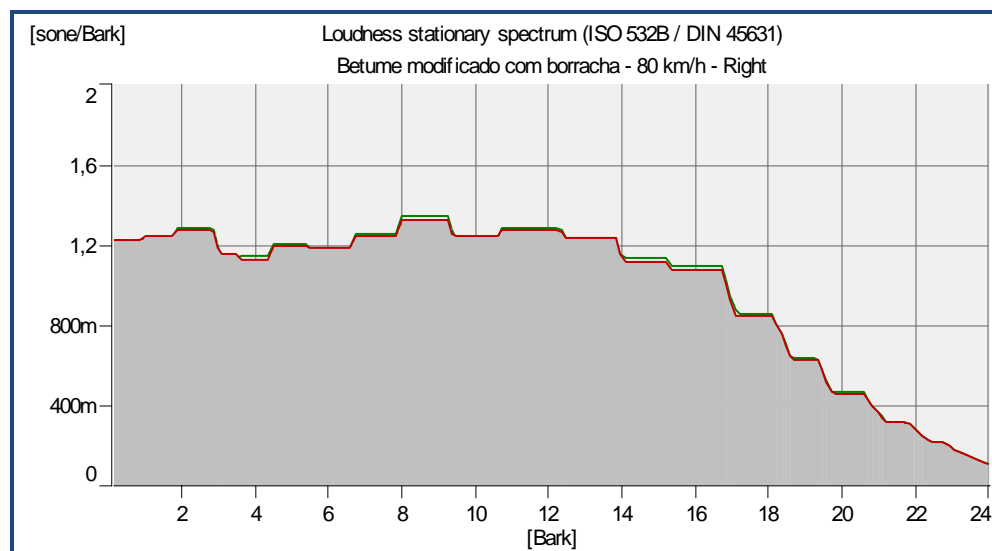


Figura 5.108– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, de três passagens de um veículo num pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa), velocidade de 80 km/h

Na Figura 5.109, é possível identificar que o valor máximo da *sensação de intensidade auditiva* total é de cerca 32 sone, para a passagem do veículo no pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa). Na Figura 5.106, constata-se que o valor médio do parâmetro psicoacústico *agudeza* é da ordem de 1,4 acum.

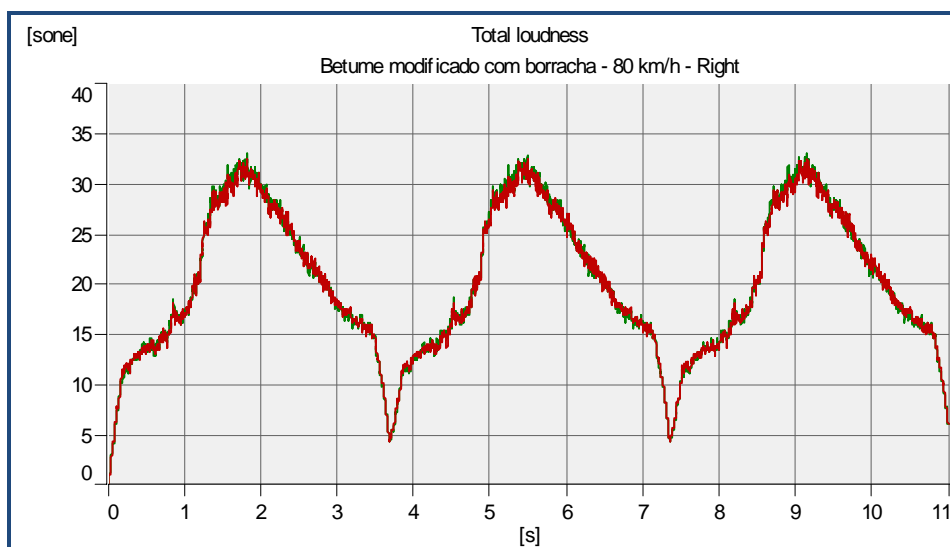


Figura 5.109 - Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total, de três passagens de um veículo num pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa), velocidade de 80 km/h

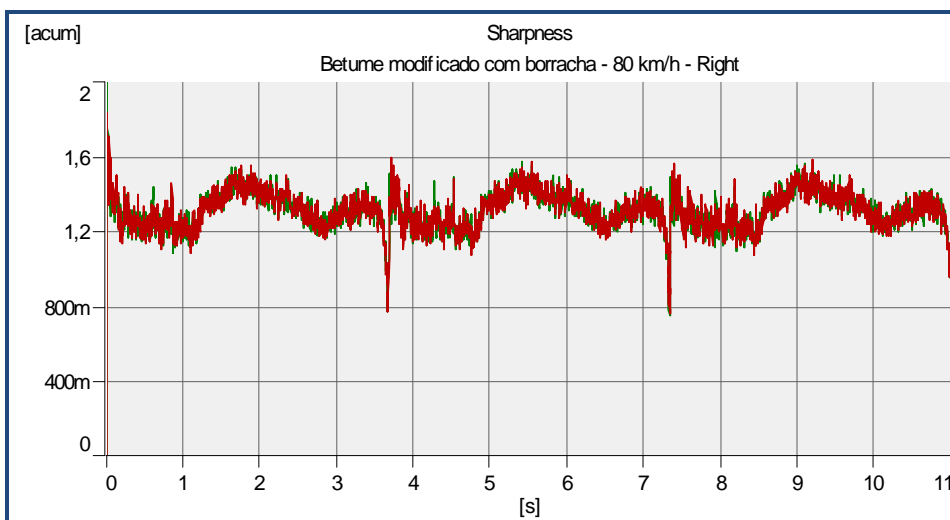


Figura 5.110– Espectro da *agudeza* em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa), velocidade de 80 km/h

Os gráficos das Figuras 5.111 a 5.114 apresentam o espectro por bandas de terços de oitava do nível de pressão sonora em função do tempo, o espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, a evolução da *sensação de intensidade auditiva*

total e a *agudeza*, em função do tempo, correspondentes as 3 passagens num pavimento betuminoso drenante. Analisando a Figura 5.111, verifica-se uma maior intensidade nas bandas de terço de oitava até 1250 Hz, enquanto que na Figura 5.112 é possível observar a preponderância das bandas críticas de 1, 5,6 e 7 Bark.

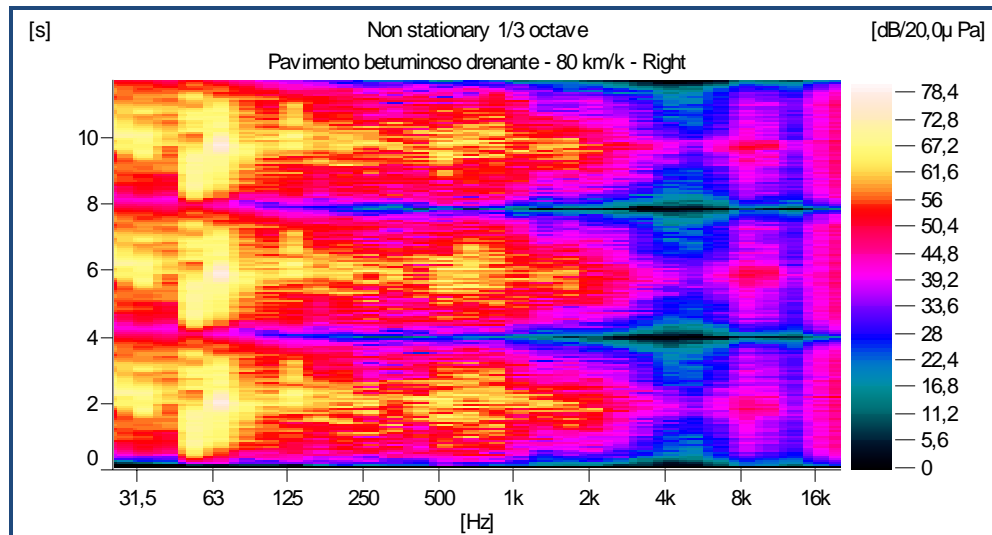


Figura 5.111– Espectro de bandas de terço de oitava de três passagens de um veículo num pavimento betuminoso drenante, velocidade de 80 km/h

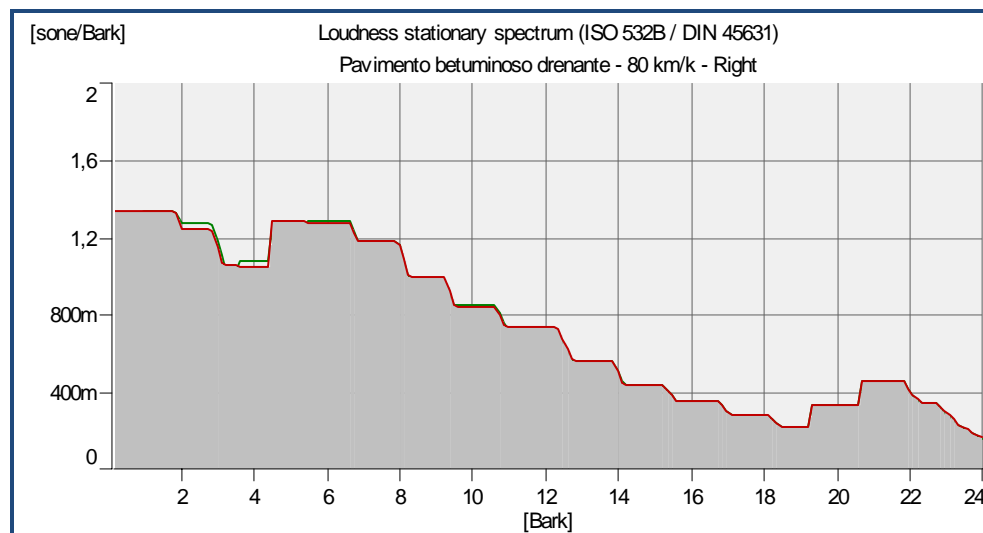


Figura 5.112– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* por banda crítica, de três passagens de um veículo num pavimento betuminoso drenante, velocidade de 80 km/h

Na Figura 5.113, é possível identificar que o valor máximo da sensação de intensidade auditiva total é de cerca 26 sone, para a passagem do veículo no pavimento betuminoso

drenante. Na Figura 5.114, constata-se que o valor médio do parâmetro psicoacústico *agudeza* é da ordem 1,6 acum.

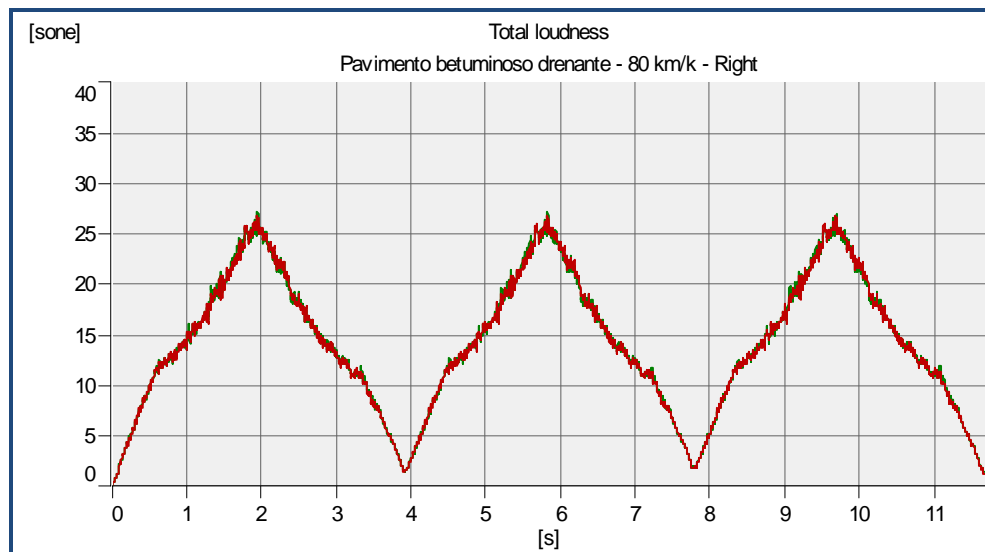


Figura 5.113– Espectro da *sensação de intensidade auditiva* total em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento betuminoso drenante, velocidade de 80 km/h

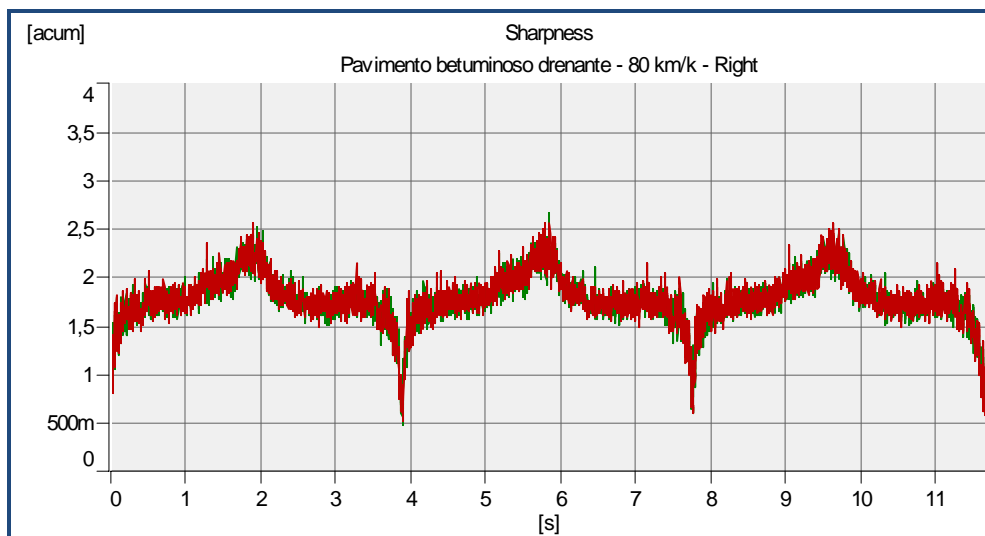


Figura 5.114– Espectro da *agudeza* em função do tempo, de três passagens de um veículo num pavimento betuminoso drenante, velocidade de 80 km/h

Para a caracterização do ruído associado à passagem de um veículo ligeiro com diferentes velocidades num pavimento, foram obtidos os valores dos níveis sonoros, com ponderação linear, ponderação A, ponderação C, e valor máximo. Estes valores apresentam-se na Figura 5.115 para o pavimento betuminoso drenante e na Figuras 5.116 para o pavimento de betume modificado de borracha (mistura rugosa), sendo

possível constatar, como seria de esperar, um aumento dos níveis sonoros com o aumento da velocidade de circulação.

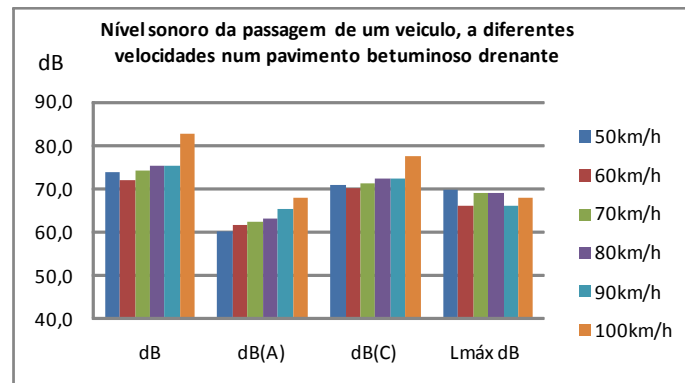


Figura 5.115- Níveis sonoros (ponderação linear, A, C e nível máximo), correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento betuminoso drenante, a diferentes velocidades

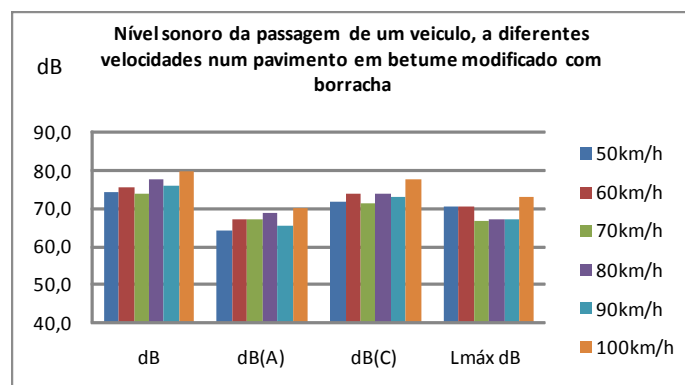


Figura 5.116 - Níveis sonoros (ponderação linear, A, C e nível máximo), correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento em betume modificado com borracha, a diferentes velocidades

No que respeita à parâmetros psicoacústicos associados à passagem de um veículo ligeiro num mesmo pavimento, para diferentes velocidades, foram obtidos os valores correspondentes à *sensação de intensidade auditiva*, e aos níveis percentis correspondentes aos de 5, 10 e 50%, bem como os valores correspondentes aos parâmetros *agudeza* e *rugosidade*. Nas Figura 5.117 e 5.118, apresentam-se os valores obtidos para a passagem de um veículo ligeiro no pavimento betuminoso drenante e nas Figuras 5.119 e 5.120, os valores obtidos no pavimento de betume modificado de borracha, mistura rugosa.

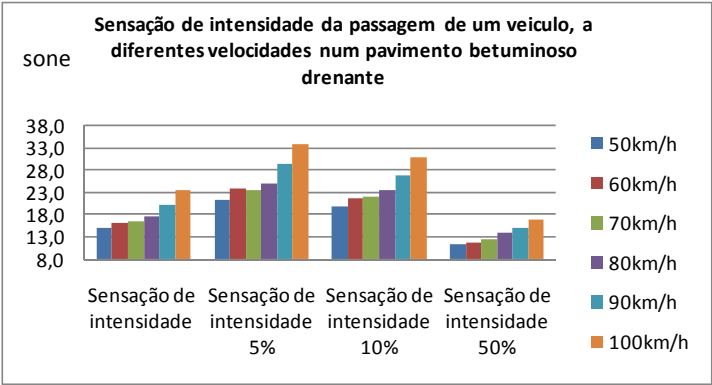


Figura 5.117- *Sensação de intensidade auditiva* e níveis percentis de 5%, 10% e 50%, correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento betuminoso drenante, a diferentes velocidades

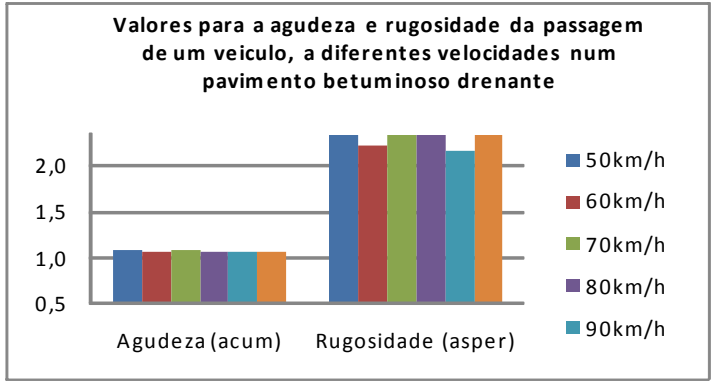


Figura 5.118- Parâmetros psicoacústicos (*agudeza e rugosidade*) correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento betuminoso drenante, a diferentes velocidades

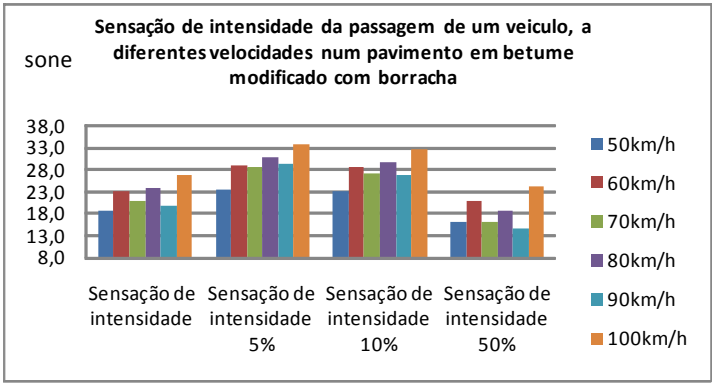


Figura 5.119 - *Sensação de intensidade auditiva* e níveis percentis de 5%, 10% e 50%, correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento em betume modificado com borracha, a diferentes velocidades

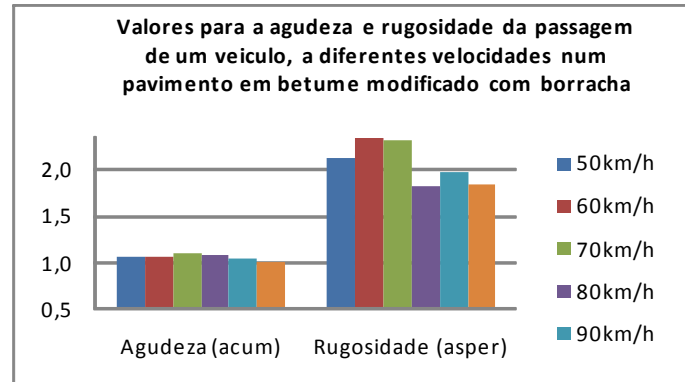


Figura 5.120 - Parâmetros psicoacústicos (*agudeza* e *rugosidade*) correspondentes à passagem de um veículo ligeiro, num pavimento em betume modificado com borracha, a diferentes velocidades

5.3.2.3 Síntese da caracterização física e psicoacústica dos estímulos relativos às medidas de minimização

Apresenta-se na Tabela 5.3 uma súmula dos principais aspectos relativos a cada um dos 12 sons que integram o inquérito para a avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de ruído de tráfego rodoviário.

Tabela 5.3 – Síntese da caracterização das medidas de minimização

Som 1 - barreiras	
O espectro do nível de pressão sonora por bandas de terços de oitava apresenta uma maior intensidade associada às bandas de terços de oitava inferiores a 125 Hz, e depois, com menor intensidade, na região compreendida entre as bandas de terços de oitava de 250 a 2000 Hz. O espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, permite confirmar a significância da sensação de intensidade auditiva nas bandas de 1 Bark, podendo-se constatar que a <i>sensação de intensidade auditiva</i> se desenvolve principalmente entre as bandas de 3 e 9 Bark. Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i> : 0,7 acum.	
Som 2 – barreiras	
No espectro de terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, é visível uma preponderância de intensidade do espectro na zona das bandas de terços de oitava inferiores a 200 Hz, estendendo-se esta influência, pontualmente, até aos 1250 Hz. No espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, é possível constatar-se a saliência da <i>sensação de intensidade auditiva</i> nas bandas críticas de 1 e 2 Bark, e depois com menor intensidade nos 9 Bark. Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i> : 0,8 acum.	
Som 3 – barreiras	
No espectro por bandas de terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, é visível uma preponderância de intensidade do espectro zona das bandas de terços de oitava inferiores a 250 Hz, estendendo-se esta influência, pontualmente, até aos 1000 Hz. No espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, é possível constatar-se a saliência das bandas críticas de 1, 2 e 9 Bark. Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i> : 0,8 acum.	
Som 4 – barreiras	
No espectro em terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, é visível uma preponderância de intensidade do espectro na zona das bandas de terços de oitava inferiores a 200 Hz, que depois decresce até à região da banda de terços de oitava, centrada na frequência de 2000 Hz. No espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, é possível constatar-se a saliência da <i>sensação de intensidade auditiva</i> nas bandas críticas de 1 e 2 Bark. Valor médio do parâmetro psicoacústico <i>agudeza</i> : 0,8 acum.	

Tabela 5.3 – Síntese da caracterização das medidas de minimização (cont.)

Som A- barreiras	
Verifica-se que a barreira viabiliza uma diminuição de intensidade, até a banda de terços de oitava centrada na frequência de 4000 Hz. Em termos de nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, a barreira acústica introduziu uma atenuação de 13 dB(A). Comparando os resultados dos espectros de <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica, verifica-se uma diminuição na <i>sensação de intensidade auditiva</i> da ordem de 0,8 sone, até à banda crítica de 14 Bark, e depois uma diminuição mais ligeira nas restantes bandas.	
Pavimentos - betão betuminoso denso	
No espectro em terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, verifica-se uma maior intensidade nas bandas de terços de oitava na região entre os 800 e 1600 Hz, facto este, até mais saliente no espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica onde se verifica uma maior intensidade nas bandas críticas de 8 e 9 Bark.	
Pavimentos - betão betuminoso rugoso	
No espectro em terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, verifica-se uma maior intensidade das bandas de terços de oitava na região compreendida entre os 500 e 2000 Hz. No entanto, no espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica é possível constatar uma certa homogeneidade de valores compreendidos entre as bandas críticas de 6 e 12 Bark, não existindo nenhuma que se saliente relativamente às anteriores.	
Pavimentos - microbetão betuminoso	
No espectro em terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, verifica-se uma maior intensidade nas bandas de terço de oitava na região compreendida entre os 500 e 1000 Hz. No espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica é possível visualizar a preponderância da <i>sensação de intensidade auditiva</i> para a região compreendida entre as bandas críticas de 6 e 9 Bark.	
Pavimentos - betume modificado com borracha	
No espectro em terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, verifica-se uma certa homogeneidade na intensidade das bandas de terço de oitava, até à frequência de 3000 Hz, facto este também presente no espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica.	
Pavimentos - betuminoso drenante	
No espectro em terços de oitava, do nível de pressão sonora em função do tempo, verifica-se uma maior intensidade nas bandas de terço de oitava até 1250 Hz, enquanto que, no espectro da <i>sensação de intensidade auditiva</i> por banda crítica é possível observar a preponderância das bandas críticas de 1, 5,6 e 7 Bark.	

5.3.3 Inquérito sócio-acustico para avaliação das medidas de minimização

5.3.3.1 Introdução

A primeira parte do inquérito para a avaliação da percepção de medidas de minimização de ruído desenvolvido teve em conta os aspectos mais importantes que podem contribuir para a incomodidade induzida pelo ruído e que resultaram de uma pesquisa bibliográfica sobre o tema. Um destes factores diz respeito à fonte de ruído em avaliação, à sua caracterização física (em termos espectrais e de emissão ao longo do tempo) e à correspondente exposição diária que o individuo esta sujeito, bem como ao tipo de relação que este estabelece com a fonte. Outro parâmetro a ter em consideração é a contribuição de outros aspectos de poluição (como, por exemplo, a poluição atmosférica,

ou os odores), associados à fonte em avaliação. Neste inquérito, foram também integrados dados relativos à percepção sonora dos vários sons que integram o ruído de tráfego rodoviário, bem como a questão normalizada relativa à incomodidade induzida pelo ruído de tráfego rodoviário, tendo sido avaliados os principais efeitos induzidos e o tipo de estratégias utilizadas para minorar os seus efeitos (estratégias de *coping*).

A experiência subjectiva de incomodidade induzida pelo ruído representa frequentemente a reacção humana a este fenómeno. No entanto, é espectável a existência de diferentes níveis no grau de incomodidade, para indivíduos distintos, sendo este facto muitas vezes representado por uma variação considerável das avaliações realizadas, o que muitas vezes está associado a diferenças na sensibilidade ao ruído. A sensibilidade ao ruído pode ser interpretada como uma característica da personalidade de um indivíduo que aumenta o seu grau de reacção ao ruído em geral e que não depende da exposição ao ruído a que está sujeito. Deste modo, num inquérito sobre avaliação da percepção sonora, a informação sobre o grau de sensibilidade do inquerido assume-se como um aspecto importante a considerar. Para este efeito, após uma revisão bibliográfica sobre esta temática, foi decidido integrar uma versão reduzida do questionário de Weinstein para avaliação da sensibilidade ao ruído, cujas propriedades psicométricas (validade, consistência interna e estrutura factorial) foram amplamente avaliadas.

Na segunda parte do inquérito, relativa às medidas de minimização de ruído, foram integradas questões referentes às expectativas dos inquiridos relativamente a eficácia deste tipo de medidas, e avaliadas ideias pré-concebidas relativamente aos materiais que integram os painéis que as constituem. Esta parte integrou também a audição, por meio de auscultadores, de uma sequência de registos áudio, estruturada de acordo com o tipo de medida de minimização: barreira acústica, pavimentos com características de absorção sonora e diferentes velocidades de circulação.

5.3.3.2 Metodologia e estrutura do inquérito sócio-acústico

No presente trabalho, optou-se pela realização do inquérito sócio-acústico na residência dos inquiridos, de modo a contextualizar os participantes para uma situação de habituação ao ruído de tráfego rodoviário e daí aferir qual a percepção relativamente a

medidas de minimização de ruído. Para este efeito, foi realizada uma primeira visita aos locais de estudo, de modo a seleccionar os edifícios mais representativos, aos quais correspondiam situações distintas de exposição ao ruído de tráfego rodoviário da VCI. Nesta visita, foram recolhidas informações (nome, morada e contactos) sobre a administração dos condomínios. Seguidamente com 1 semana de antecedência, foram enviadas cartas aos respectivos administradores, com informação sobre o estudo a realizar (ver Anexo 7). Na Tabela 5.4 apresenta-se a listagem das entidades contactadas, a quem foram enviadas a carta de apresentação do estudo, bem como a respectiva solicitação para nele participar, incentivando-se à respectiva distribuição pelos condóminos.

Tabela 5.4 – Entidades contactadas

-Administração do edifício D da CCP (Cidade Cooperativa da Prelada) Rua Prof. Antão Almeida Garret nº 20, 4250-041 PORTO	-Administração do edifício I da CCP (Cidade Cooperativa da Prelada) Rua Prof. Paulo Pombo, nº 22, 4250-363 PORTO
-Sr Tavares da Costa Rua Cidade de Iena, edifício 1 Nº 230, R/C Esq, 4250-137 PORTO	- Administração do Condomínio Beira Alta –Boavista Rua Professor Eugénio de Castro, 351 4100-225 PORTO
- Administração do Condomínio São José Rua Professor Eugénio de Castro, 351 4100-225 PORTO	- Administração do Condomínio Ribatejo Rua Professor Eugénio de Castro, 351 4100-225 PORTO
- Administração do Condomínio Douro Rua Professor Eugénio de Castro, nº 34 4100-225 PORTO	- Administração do Condomínio Olho Marinho Rua Professor Damião Peres, nº 41 4100-198 PORTO
NÓS ADMINISTRAMOS - Administração do edifício Passeio da Boavista Travessa dos Congregados, n 15, 5F 4179 Porto	CONDOMINIAL- Administração do Condomínio Alentejo Av da Boavista , nº 197- 6A 4050- 115 Porto
- Associação de Moradores do Bairro Bessa Leite Bairro Bessa Leite, Bloco 1 Entrada 123, Habitação 31, 2ºEsq 4105 072 Porto	- Administração do Condomínio São João Bosco (nºs 24 e 30).Dr Reis Figueira Rua São João Bosco, ° 24 4100-450 PORTO

Tabela 5.4 – Entidades contactadas (cont.)

- Administração do Condomínio São João Bosco (nºs 180 Sr Eusébio Lopes Rua São João Bosco, º 180, 4ºEsq 4100-450 PORTO	- Oficial, Lda Sr Ricardo Tavares Rua Brito Capelo, nº 641, 1º andar 4450-075 Matosinhos
- Axia Gestão de Condomínios Rua Gonçalo Sampaio, 271, 4º Drt 4250-367 PORTO	- Administração do Condomínio BOAPOR-2.Drª Susana Av do Bessa, nº 314 4100 -012 PORTO

Relativamente à estrutura do inquérito, tal como foi referido anteriormente, a primeira parte integrava um questionário com perguntas fechadas, subdividido em quatro etapas: na primeira etapa, eram solicitadas informações relativas à residência (parte A), seguidamente, era solicitada informação relativa à percepção sonora (parte B), posteriormente, solicitava-se informação relativa a atitudes e efeitos do ruído (Parte C), e na última etapa solicitavam-se informações relativas às medidas de minimização de ruído (Parte D). No Anexo 7, apresenta-se o modelo do questionário utilizado. A segunda parte do inquérito integrava a audição dos registos áudio associados às medidas de minimização de ruído, sendo a sua apresentação realizada a partir de um documento em *Microsoft Poiwer Point*, com recurso a um computador, ao qual estavam ligados auscultadores (marca *Sennheirser*, modelo PXC 450), com controlo activo do ruído ambiente. Todas as sessões foram realizadas na residência dos inquiridos, tendo a duração total do inquérito sido de aproximadamente 45 minutos. Antes da realização deste inquérito, o entrevistador preenchia uma folha informativa, em que constavam dados relativos ao local de realização do inquérito, orientação do edifício face à VCI, e caracterização do tipo de estrutura do prédio (paredes, janelas e envidraçados). Sempre que possível, foram efectuadas medições dos níveis sonoros, em termos de nível sonoro continuo equivalente, ponderado A, no interior e exterior da residência dos inquiridos, quer em quartos de dormir e salas, assim em varandas.

O questionário com as perguntas de estrutura fechada iniciava-se com a caracterização da residência do inquirido (questões 2, 3, 5, 6, 7, 8), informação sobre o tempo de habitação na residência e composição do agregado familiar (questões 1 e 4, respectivamente).

No que respeita a informação referente à percepção do ruído de tráfego rodoviário, foi incluída a questão normalizada para a avaliação da incomodidade induzida pelo ruído

(NP 4476:2008), para a qual foram utilizadas duas escalas para a correspondente quantificação: uma escala de 5 pontos, com adjectivos para o escalonamento das respostas e uma escala numérica de 10 pontos (questões 9 e 10). Neste campo, ainda foi solicitada uma avaliação sobre a incomodidade dos diversos tipos de veículos, considerados como mais incomodativos e condições de circulação, (questões 11 e 12), bem como a avaliação da sensibilidade ao ruído do inquirido (questão 13). Tendo em conta o contexto de aplicação deste inquérito (exposição ao ruído de tráfego rodoviário numa zona residencial), seleccionou-se para a avaliação da sensibilidade ao ruído um número restrito de questões que integram o questionário de *Weinstein*, designadamente as questões 1, 2, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 20 e 21. Na Tabela 5.5 apresentam-se o conjunto de questões que integram o questionário de *Weinstein*.

Relativamente à informação sobre atitudes e efeitos do ruído, os inquiridos foram questionados sobre quais as actividades em que o ruído de tráfego rodoviário os incomodava quando estavam na sua residência (questão 14) e se alguma vez tomaram alguma atitude no sentido de minimizar este incómodo, quer a partir de acções individuais na sua habitação, quer por meio de acções de cariz colectivo, como por exemplo, a adesão a uma campanha de moradores. Os inquiridos foram também questionados sobre o resultado da atitude eventualmente tomada (questões 15 e 16). Para a avaliação das expectativas face à eficácia das medidas de minimização de ruído, foram apresentadas aos inquiridos um conjunto de 5 afirmações, para as quais se solicitava o respectivo grau de concordância (questão 18).

Tabela 5.5 – Questões sobre a sensibilidade ao ruído (Questionário de *Weinstein*)

1. Não me importava de viver numa rua ruidosa, se a casa onde morasse fosse boa

Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

2. Estou mais consciente sobre o ruído do que costumava ser

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

3. Ninguém se deveria importar muito, se de vez em quando alguém colocasse o equipamento estéreo no volume máximo

Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

4. No cinema, o falar baixinho e os ruídos das pessoas ao comer pipocas (ou doces) perturbam-me

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

5. Sou facilmente acordado/a com o ruído

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

6. Se quando estou a estudar existe ruído, tento fechar a porta ou a janela ou então mudo de lugar

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

Tabela 5.3 – Questões sobre a sensibilidade ao ruído (cont.)

7 . Fico incomodado quando os meus vizinhos são ruidosos							
Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
8.Habito-me sem dificuldade a qualquer tipo de ruído							
Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
9 . De quanto se importava se a casa que tivesse que alugar estivesse próxima de um quartel de bombeiros							
Muito	6	5	4	3	2	1	Pouco
10 . Muitas vezes o ruído enerva-me e fico irritado							
Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
11. Até a musica que normalmente gosto, incomoda-me se estou a tentar concentrar-me							
Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
12. Não me incomoda ouvir os sons do dia-a dia devido aos meus vizinhos (agua a correr, passos, etc.)							
Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
13. Quando quero estar sozinho, perturba-me o ruído proveniente do exterior							
Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
14. Tenho facilidade em concentrar-me, independentemente do que ocorre em meu redor							
Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
15. Numa biblioteca não me importo que as pessoas estejam a conversar em voz baixa							
Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
16. Existe alturas em que necessito de silêncio absoluto							
Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
17. Os motociclos deviam ter silenciadores maiores							
Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
18. Tenho dificuldades em relaxar em lugares ruidosos							
Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
19. Fico furioso/a com as pessoas que fazem ruídos que me impedem de adormecer ou trabalhar							
Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
20. Não me importava de viver numa casa por paredes pouco espessas							
Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
21. Sou sensível ao ruído							
Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo

Estas afirmações estavam relacionadas com as expectativas relativamente à melhoria da qualidade de vida e eliminação do ruído, possibilitadas pela construção de uma barreira acústica nas proximidades da respectiva residência, ao tipo de materiais que a deveriam integrar e às principais vantagens associadas a esta medida de minimização de ruído (questão 19). O questionário terminava com o preenchimento de dados pessoais relativos ao inquirido, tais como o sexo, faixa etária, grau de escolaridade, tipo de ocupação actual e grau geral de saúde (questões 21 a 26).

A segunda parte deste inquérito sócio-acústico era iniciada com a apresentação de um conjunto de 4 fotografias de barreiras acústicas (v. Figura 5.119). Nesta fase, solicitava-

se em primeiro lugar a ordenação das fotografias apresentadas, de acordo com a expectativa da correspondente eficácia na atenuação ao ruído. Numa segunda fase, era solicitada uma nova ordenação, desta vez de acordo com o grau de agradabilidade estética de cada dispositivo. Em último lugar, conjuntamente com a fotografia correspondente, foram apresentados os sons registados por detrás de barreiras acústicas e solicitada a ordenação das quatro fotografias, de acordo com a percepção da eficácia associada a cada conjunto imagem-registo áudio.



Figura 5.121– Fotografias das barreiras acústicas: (a) Barreira verde; (b) Barreira metálica; (c) Barreira transparente; (d) Barreira mista

Refira-se que, para esta ultima avaliação, os registos áudios gravados por detrás da barreira acústica, cujos espectros se apresentam nas Figuras 5.75 a 5.90, foram ajustados para o mesmo valor de nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A (62 dB(A)). Para este efeito, o nível sonoro associado a cada estímulo sonoro, emitido pelos auscultadores Sennheiser, foi equalizado pelo *software* Adobe Audition versão 3, com recurso a um sonómetro e a um ouvido artificial (marca Brüel & Kjaer, modelo 4152).

A Tabela 5.6 apresenta a codificação dos 4 sons que foram integrados neste inquérito, bem como a correspondente localização do ponto onde a gravação foi efectuada.

Tabela 5.6 – Estrutura do inquérito – Sons registados por detrás de barreiras

Identificação do registo sonoro	Localização da Barreira Acústica
Som 1	A5 Estoril (1,5 m do solo)
Som 2	A2 (1,5 m do solo)
Som 3	A5 (próximo do seminário Aquila)
Som 4	A5 (saída da Abruxada)

Para eliminar possíveis efeitos de enviesamento relacionados com a sequência de apresentação de sons, foram elaboradas sequências distintas, como se mostra no Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Estrutura do inquérito – Sequências de apresentação de diapositivos - Barreiras

Barreiras	Sequência de sons
Sequência A	Som 1, Som 2, Som 3, Som 4
Sequência B	Som 4, Som 1, Som 3, Som 2
Sequência C	Som 2, Som 4, Som 1, Som 3
Sequência D	Som 3, Som 4, Som 2, Som 1

A apreciação das barreiras acústicas foi finalizada com a comparação entre dois sons, registados simultaneamente, em dois locais distintos, um localizado na região de sombra da barreira (Som B), e o segundo localizado a uma altura em que o efeito da barreira não introduz atenuação sonora (Som A).

Tabela 5.8 – Estrutura do inquérito – Comparação de sons registados com /sem barreira

Identificação do registo sonoro	Localização da Barreira Acústica
Som A	A5 Estoril (4,5 m do solo)
Som B	A5 Estoril (1,5 m do solo)

No que respeita à avaliação da eficácia de pavimentos, esta foi efectuada a partir da comparação entre dois sons, um relativo à passagem de um veículo ligeiro com velocidade de circulação de 80 km/h, num pavimento de betão betuminoso denso (som de referência) e o segundo, correspondente à passagem do mesmo veículo, com a mesma velocidade, respectivamente num pavimento de betão betuminoso rugoso, num

pavimento de betão betuminoso drenante, num pavimento de betão betuminoso em microbetão e num pavimento de betão modificado com borracha (mistura rugosa). Na Tabela 5.9 é possível visualizar a sequência de comparações efectuadas.

Tabela 5.9 – Estrutura do inquérito – Comparação de sons de passagens de um veículo em diferentes pavimentos

Identificação do registo sonoro	Tipo de pavimento
Diapositivo A	Som A: betão betuminoso denso; Som B: Betão betuminoso rugoso
Diapositivo B	Som A: betão betuminoso denso; Som B: Betão betuminoso drenante
Diapositivo C	Som A: betão betuminoso denso; Som B: Betão betuminoso em microbetão
Diapositivo D	Som A: betão betuminoso denso; Som B: Pavimento de betume modificado com borracha (mistura rugosa)

Analogamente ao que aconteceu com as barreiras acústicas, a fim de eliminar possíveis efeitos de enviesamento relacionados com a sequência de apresentação de sons, foram elaboradas sequências distintas, como se mostra na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Estrutura do inquérito – Sequências de apresentação de slides - Pavimentos

Pavimentos	
Sequência A	Slide A,B,C,D
Sequência B	Slide D,C,B,A
Sequência C	Slide C, D,A,B

A estrutura digital do inquérito, tal como era visualizada pelos inquiridos, é apresentada nas Figura 5.122, para a avaliação dos sons relativos às barreiras acústicas, e na Figura 5.123 para a avaliação da passagem do veículo ligeiro nos diferentes pavimentos rodoviários, com uma velocidade de 80 km/h. Nesta última figura, também se apresenta o diapositivo visualizado pelos inquiridos aquando da avaliação da passagem do referido veículo, com velocidades distintas de circulação, num pavimento betuminoso drenante (velocidades de 100 km/h, 80 km/h e 60km/h) e num pavimento de betão modificado com borracha (velocidades de 100 km/h e 60km/h).

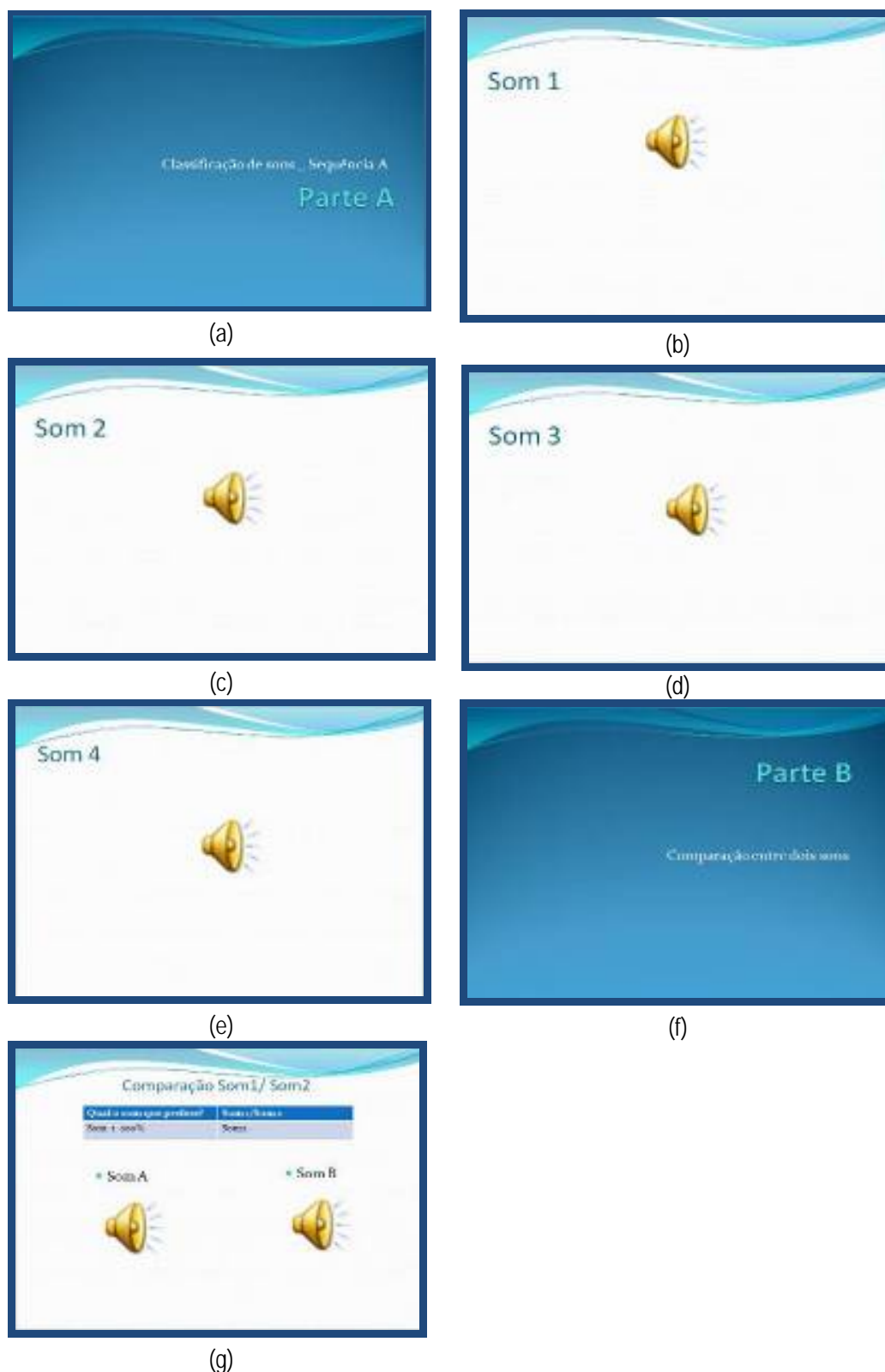


Figura 5.122 – Diapositivos do inquérito: (a) e (f) apresentação das tarefas do inquérito; (b), (c), (d), (e) apresentação dos sons registados por detrás de barreiras acústicas; e (g) comparação com/sem barreira

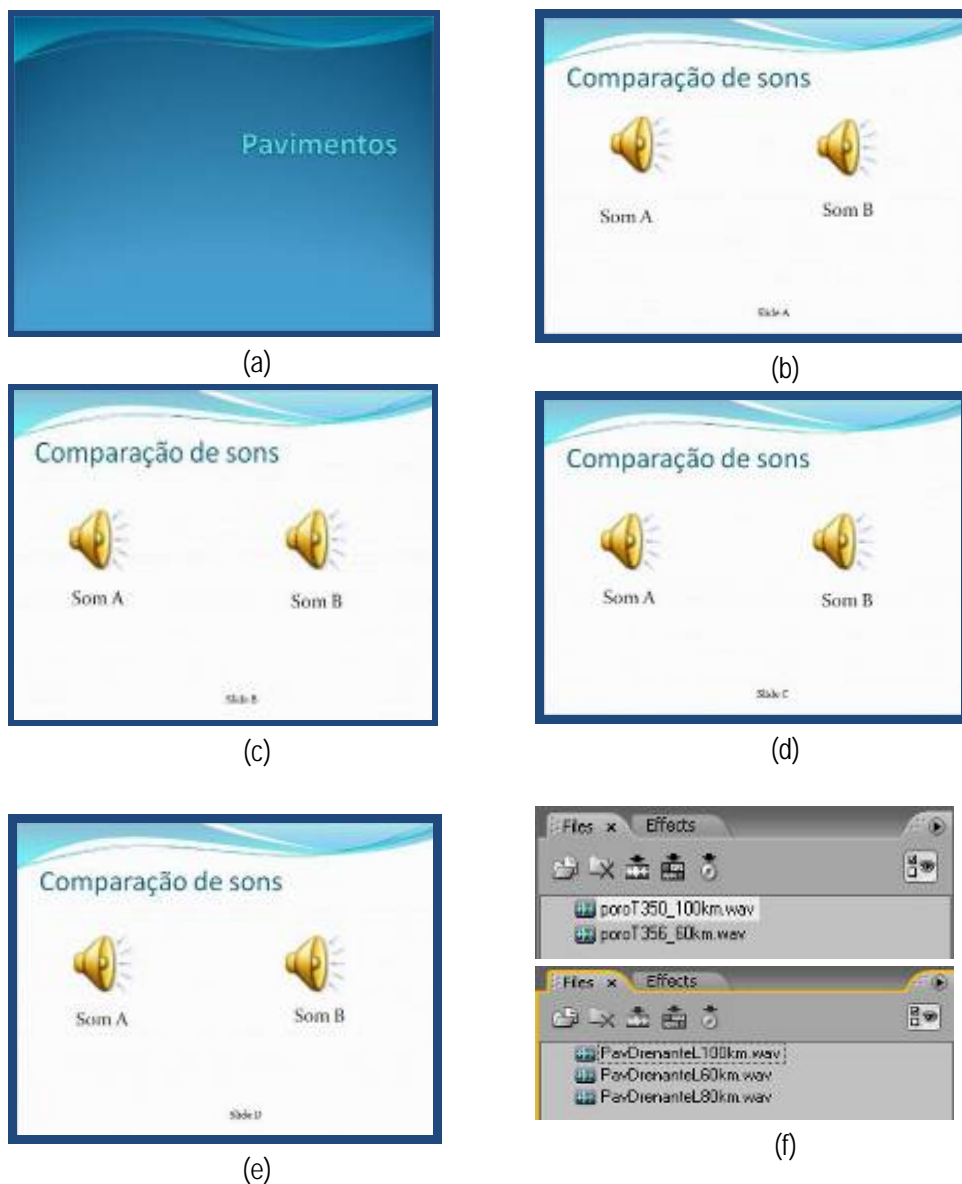


Figura 5.123 – Diapositivos do inquérito: (a) dispositivo informativo; (b), (c), (d), (e) diapositivos para a avaliação da passagem do veículo ligeiro nos diferentes pavimentos rodoviários, com uma velocidade de 80 km/h.; e (g) diapositivo para da avaliação da passagem do veículo, com velocidades distintas de circulação

Tendo em conta que os sons utilizados neste inquérito eram reproduzidos por meio de auscultadores, foram realizadas medições dos estímulos sonoros utilizados. Esta medição foi realizada com recurso a um ouvido artificial, sendo os níveis sonoros relativos aos primeiros 4 sons (barreiras acústicas), normalizados para o mesmo valor de nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A.

Capítulo 6: Análise de resultados – Integração de aspectos qualitativos

6.1 Noções gerais

Neste capítulo apresenta-se o tratamento dos resultados obtidos nos dois inquéritos efectuados, nomeadamente o inquérito à avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes sonoras presentes em zonas urbanas e o inquérito psico-acústico de avaliação da percepção das medidas de minimização de ruído.

O objectivo da realização do primeiro inquérito foi o estudo do significado conotativo atribuído aos sons de tráfego. Efectivamente, pode-se considerar que a percepção dos estímulos acústicos pode ser determinada por factores subjectivos, psicológicos, e objectivos, em função de variáveis do domínio da acústica e da psicoacústica, [Genuit, 2004]. Blauert e Jekosch [Blauert e Jekosch, 1997] apontaram a necessidade de considerar que os processos cognitivos e afectivos influenciam a percepção, interpretação, avaliação e a reacção aos estímulos auditivos, em complemento aos descritores acústicos e psicoacústicos.

Refira-se que os processos cognitivos envolvidos na percepção dos estímulos auditivos correspondem a processos de identificação de um estímulo como um acontecimento discreto ou como uma sequência de acontecimentos indiferenciados. No que respeita aos processos afectivos, estes permitem a avaliação do acontecimento acústico como incomodativo ou, então, como agradável. O modo como o estímulo auditivo é apercebido e a correspondente avaliação ou resposta dependerão também das experiências de cada indivíduo, da sua memória e de variáveis psicológicas, tais como a sensibilidade ao ruído e as atitudes relativas à fonte de ruído, bem como as variáveis ligadas com o contexto onde o indivíduo reside. Espera-se que este aspecto da integração da percepção sonora dos indivíduos possibilite a construção de um novo instrumento de apoio para a selecção de opções na mitigação do ruído de tráfego, tendo em conta a percepção dos indivíduos. Os resultados obtidos neste primeiro estudo foram inicialmente submetidos a análises estatísticas descritivas e de cunho exploratório. Numa segunda etapa, os dados

foram submetidos a análise de componentes principais, tendo sido obtida, para o conjunto dos 12 sons de tráfego, uma escala de diferencial semântico, composto por quatro factores: apreciação qualitativa, estabilidade temporal, potência e timbre. Posteriormente foram estudadas as associações entre os parâmetros físicos e psicoacústicos, correspondentes aos registos áudio de cada som, e os pares de adjectivos mais representativos desse som com o objectivo de se identificar os descritores físicos e psicoacústicos relacionados com a percepção dos indivíduos.

No segundo inquérito, foi efectuada uma análise descritiva da amostra utilizada. Esta análise integrou aspectos como a caracterização sócio-demográfica, a descrição das características do edificado e a respectiva exposição sonora associada. Também foi avaliada informação relativa à percepção, atitudes e efeitos do ruído, associados ao contexto da amostra em estudo, ou seja, indivíduos que se podem considerar como muito habituados, em virtude de estarem muito expostos ao ruído de tráfego rodoviário. Neste estudo e para cada aspecto anteriormente referenciado, foi efectuada o respectivo cruzamento com o grau de incomodidade média dos inquiridos, com a finalidade de se perceber eventuais correlações. A análise descritiva finaliza com a avaliação dos resultados relativos à percepção da eficácia das diversas medidas de minimização de ruído. De forma análoga ao inquérito anterior, foi efectuada uma associação entre os parâmetros físicos e psicoacústicos de cada registo áudio que integrou o inquérito sócio-acústico e as correspondentes avaliações da percepção dos inquiridos, relativas às medidas de minimização de ruído em estudo.

6.2 Avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de ruído de tráfego presentes em zonas urbanas

6.2.1 Introdução

A avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de ruído de tráfego foi iniciada com a determinação do valor modal associado a 21 pares de adjectivos antónimos utilizados. Este cálculo foi efectuada separadamente para cada som presente no inquérito do diferencial semântico. De seguida, foi efectuada a identificação dos pares de adjectivos aos quais correspondia um valor modal nulo. Tendo em conta que, na

classificação da escala do diferencial semântico utilizada, a atribuição de um valor nulo corresponde ao par de adjectivos que foram considerados pelos inquiridos como desajustados para a classificação do som em análise, este procedimento permite a identificação dos pares de adjectivos menos adequados para a avaliação de cada som. De seguida, procedeu-se a uma recodificação da escala de avaliação, na qual a classificação segundo uma escala de Likert de 7 pontos, entre -3 e +3, foi convertida numa escala de valores positivos, de modo a poder calcular-se o valor médio e o desvio padrão associado às respostas dos inquiridos.

Os dados foram de seguida tratados com auxílio do pacote estatístico SPSS (versão 15), a partir da utilização de procedimentos multivariados, tendo-se posteriormente efectuado a associação entre os parâmetros físicos e psicoacústicos (*sensação de intensidade auditiva*, e correspondentes níveis percentil de 5%, 10% e 50%, nível sonoro ponderado A e *agudeza*) e os pares de adjectivos, para as quais estas relações eram significativas e com um grau de correlação forte.

6.2.2 Resultados obtidos

Com a finalidade de identificar os pares de adjectivos que foram considerados pelos inquiridos como “desajustados” na avaliação dos diversos sons apresentados, obteve-se, para cada par de adjectivos e para cada som, os respectivos valores modais. No Anexo 9, apresentam-se, para cada um dos 12 sons, os gráficos respectivos, e na Tabela 6.1 a identificação dos pares de adjectivos para os quais está associado um valor modal nulo. Tendo em conta os valores apresentados na Tabela 6.1, verifica-se que os pares de adjectivos Escuro-Claro, Excitante-Aborrecido, não foram considerados, na generalidade dos sons, como adequados para a sua descrição. Refira-se que a finalidade de introdução deste primeiro par (Escuro-Claro) se deve à sua relação com o parâmetro intensidade, pelo que, em inquéritos posteriores do mesmo tipo, a serem realizados em língua portuguesa, se aconselha a investigar outros adjectivos mais adequados para traduzir esta sensação de intensidade.

Nas Figuras 6.1 a 6.11 são apresentados, para cada som, os valores médios e os correspondentes desvios padrão, associados à classificação de cada par de adjectivos antónimos. Para cada par, uma classificação com um valor numérico inferior a três indica

que o adjetivo do lado esquerdo é mais adequado para a sua caracterização. Pelo contrário, uma classificação superior a 3 significa que o adjetivo, assinalado à direita do par de adjektivos, é aquele que melhor caracteriza o som.

Tabela 6.1 - Valores modais para cada som do diferencial semântico

Som	Par de adjektivos
Som 1 – Autocarro	Excitante-Aborrecido/ Escuro-Claro
Som 2 - Avião	Monotono-Variado/Escuro-Claro
Som 3 – Comboio	Excitante-Aborrecido/ Escuro-Claro
Som 4 – Tráfego VCI	Excitante-Aborrecido/ Escuro-Claro
Som 5 - Eléctrico antigo	Excitante-Aborrecido/ Escuro-Claro
Som 6- Tráfego CS	Escuro-Claro
Som 4 - Comboio	Excitante-Aborrecido/ Escuro-Claro
Som 7 - Motociclo	Escuro-Claro
Som 8 – Tráfego 2 ° Circular	Escuro-Claro
Som 9 - Tráfego Baixa	Excitante-Aborrecido/ Escuro-Claro
Som 10 - Metro	Escuro-Claro /Duro-Suave
Som 11 – Eléctrico moderno	Excitante-Aborrecido/ Escuro-Claro
Som 12 - Mota	Excitante-Aborrecido/ Escuro-Claro

Pela análise da Figura 6.1, é possível constatar que o registo áudio correspondente à passagem de um autocarro é, do ponto de vista de significado conotativo, essencialmente classificado como desconfortável e incómodo, mas também como desarmonioso, ruidoso, irritante, desagradável, áspero e forte. A escala correspondente a esta avaliação centra-se no valor de intensidade igual a cinco. O som relativo à passagem de um avião (Figura 6.2) é identificado por quase todos os participantes como incomodativo, forte e desagradável (para uma intensidade de escala igual a 6,5). Note-se que, neste caso, o valor do desvio padrão associado é praticamente nulo. No entanto, adjektivos como alto, desconfortável, ruidoso e irritante também podem ser utilizados na caracterização da passagem de um avião. Por sua vez, o som relativo à passagem de um comboio (Figura 6.3) identifica-se mais com os adjektivos desagradável, alto, incómodo, desconfortável, forte e irritante (intensidade da escala entre 5 e 6). No que respeita ao registo áudio associado ao tráfego rodoviário na VCI (Figura 6.4), são os adjektivos desagradável, incómodo, alto, desconfortável, forte, ruidoso e desagradável, que melhor o caracterizam

(intensidade da escala igual a 6). Note-se, neste caso, que aos adjectivos desagradável e forte correspondem a valores de desvio padrão inferiores à unidade.

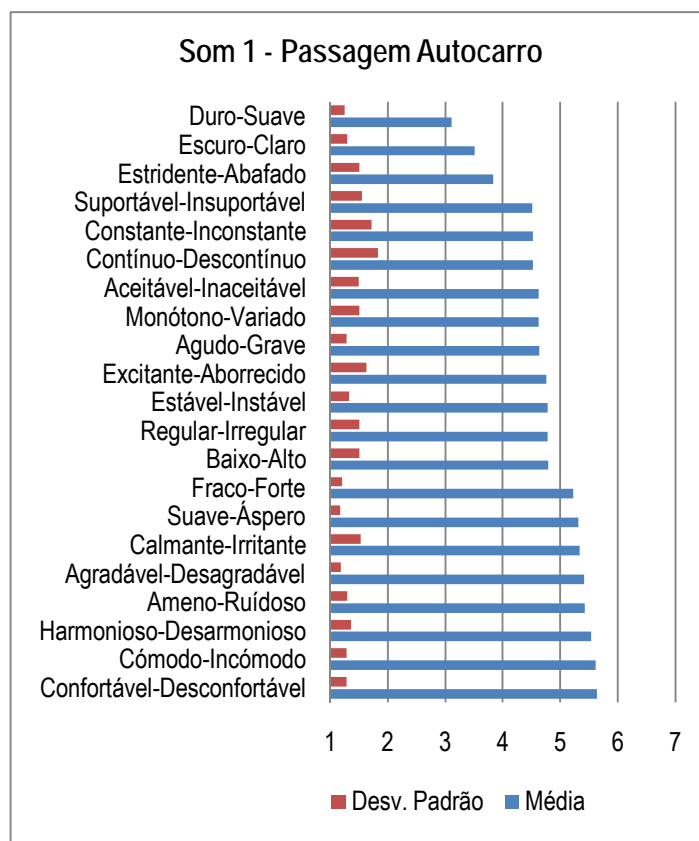


Figura 6.1 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 1

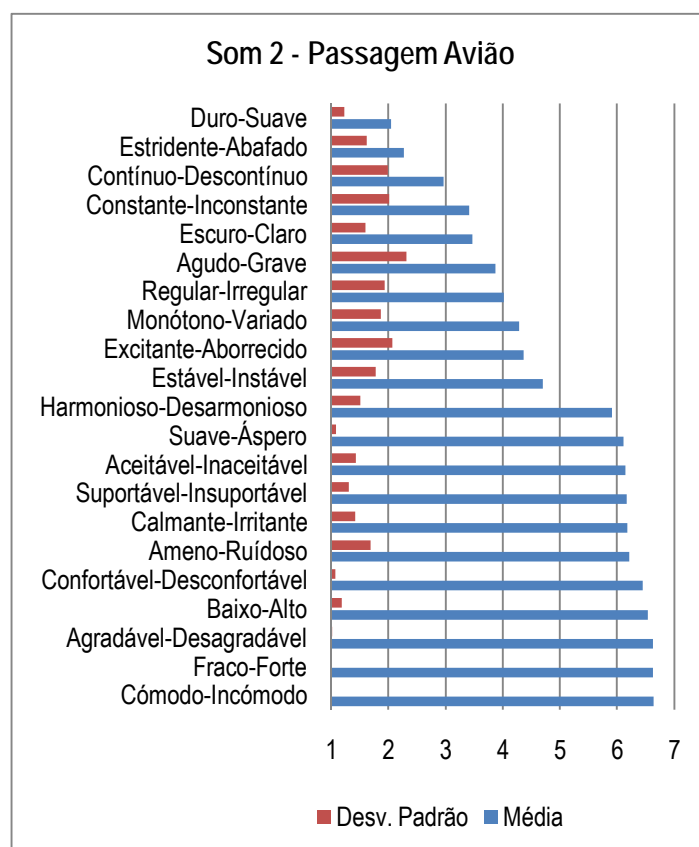


Figura 6.2 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 2

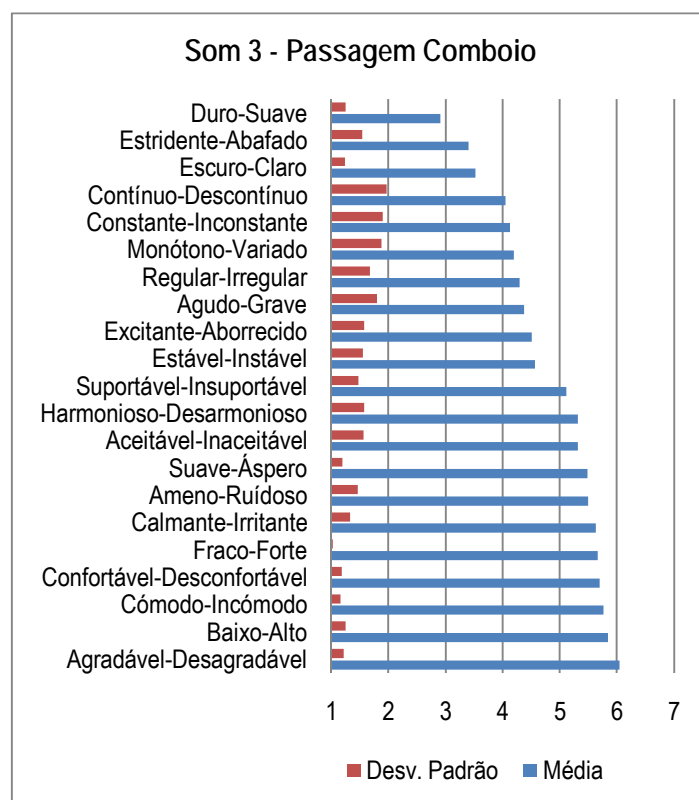


Figura 6.3 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 3

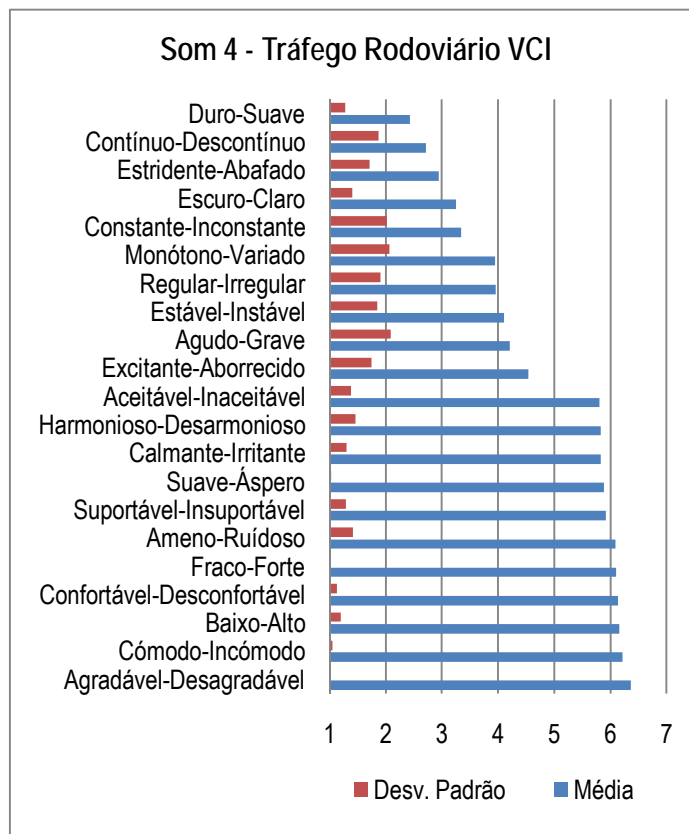


Figura 6.4 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 4

Relativamente ao som correspondente à passagem de um eléctrico histórico da Carris (v. em www.carris.pt a opção “Frota de eléctricos”), referenciado neste trabalho como “eléctrico antigo” (Figura 6.5), foram utilizados para a respectiva caracterização os seguintes adjectivos: desagradável, incómodo, desconfortável, alto, irritante, áspero, desarmonioso e forte (intensidade da escala igual a 5). O som relativo ao registo áudio gravado na Praça do Cais do Sodré, em Lisboa (Figura 6.6), foi considerado como descrito principalmente pelos adjectivos: incómodo, ruidoso, desagradável, desconfortável, desarmonioso, alto, irritante, forte e áspero (intensidade da escala igual a 5). Neste caso, é de salientar que aos adjectivos incómodo e ruidoso corresponde um valor médio inferior a 1. Na Figura 6.7 é possível visualizar que o registo áudio relativo à passagem de um motociclo, cujo ruído de escape é significativo, foi essencialmente classificado por todos os participantes como irritante, áspero e forte (desvio padrão praticamente nulo e intensidade da escala igual a 6). No entanto, adjectivos como incómodo, alto, desconfortável, ruidoso e desarmonioso também foram utilizados na caracterização deste som. No que respeita ao registo áudio associado ao tráfego rodoviário da 2ª Circular (Figura 6.8), em Lisboa, são os adjectivos incómodo,

desconfortável, ruidoso, desarmonioso, desagradável, irritante, forte e insuportável que melhor o descrevem (intensidade da escala entre 5 e 6).

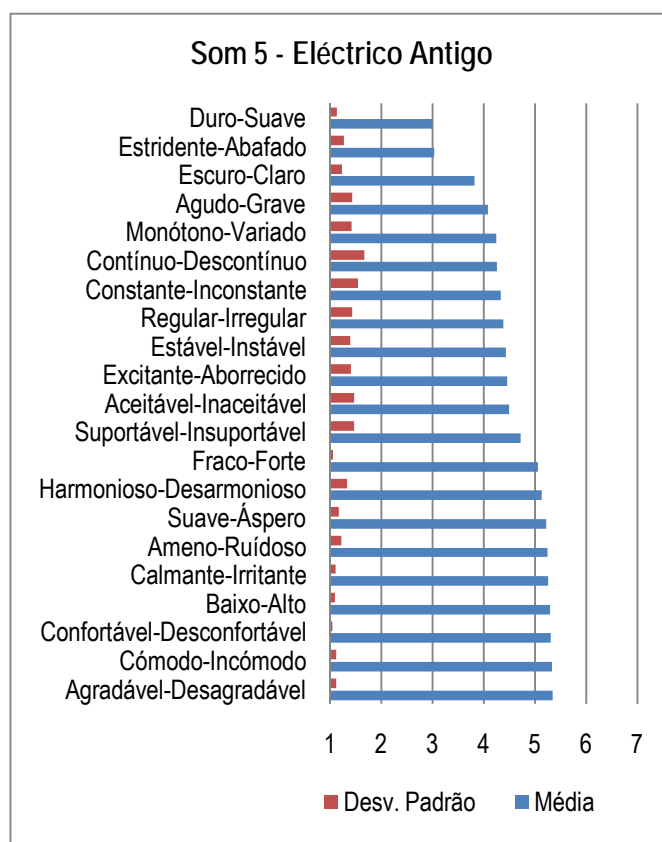


Figura 6.5 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 5

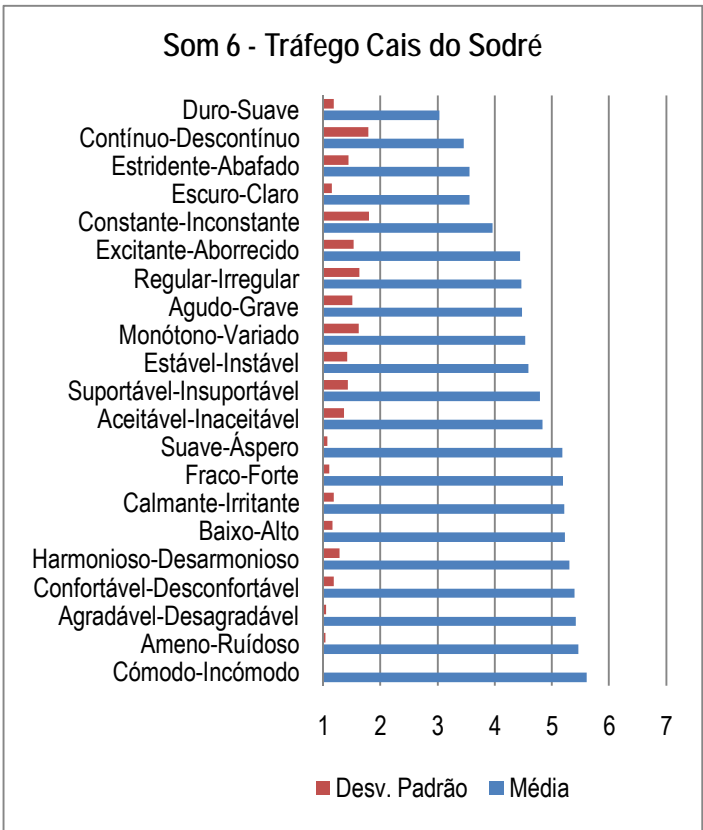


Figura 6.6 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 6

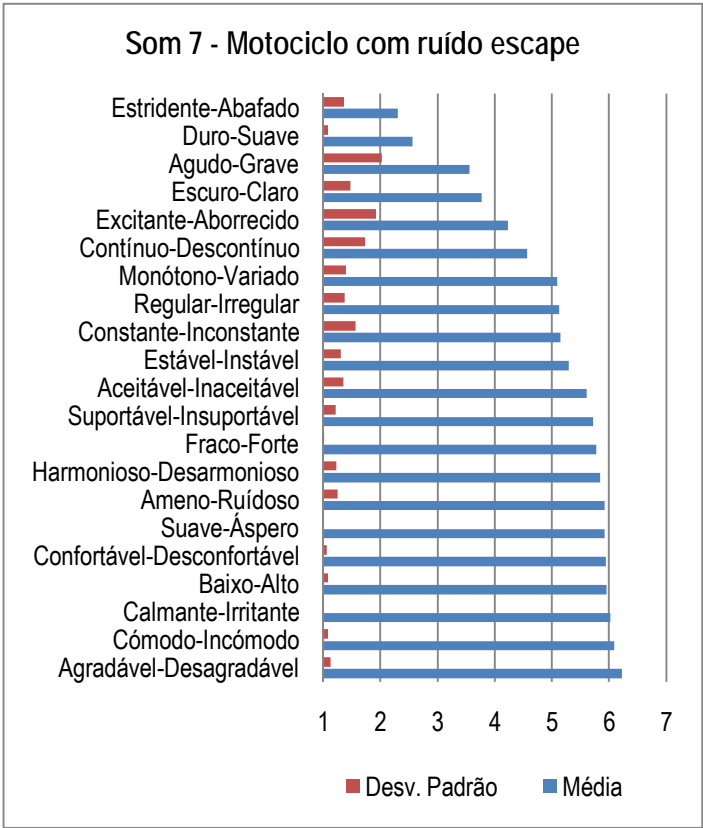


Figura 6.7 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 7

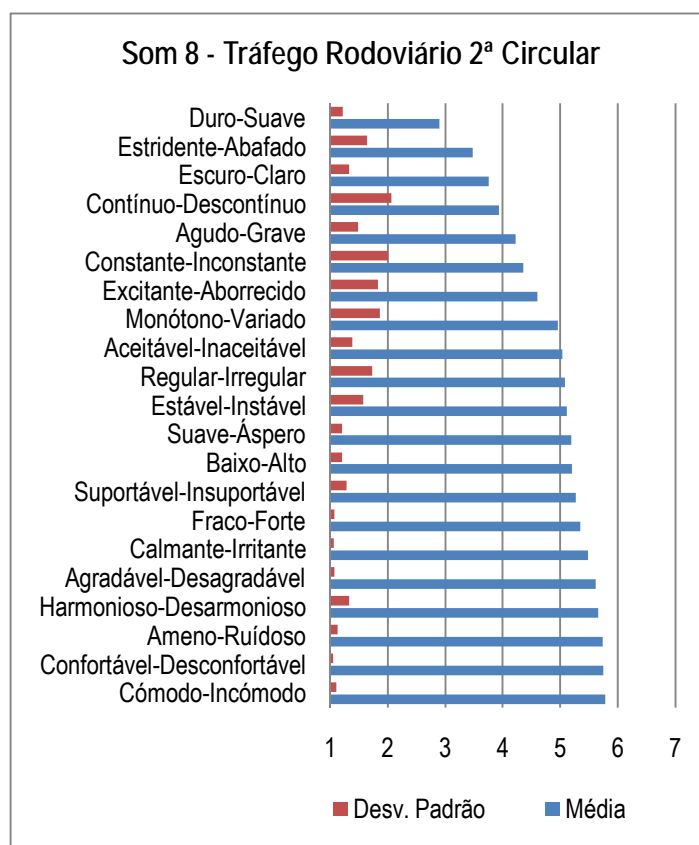


Figura 6.8 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 8

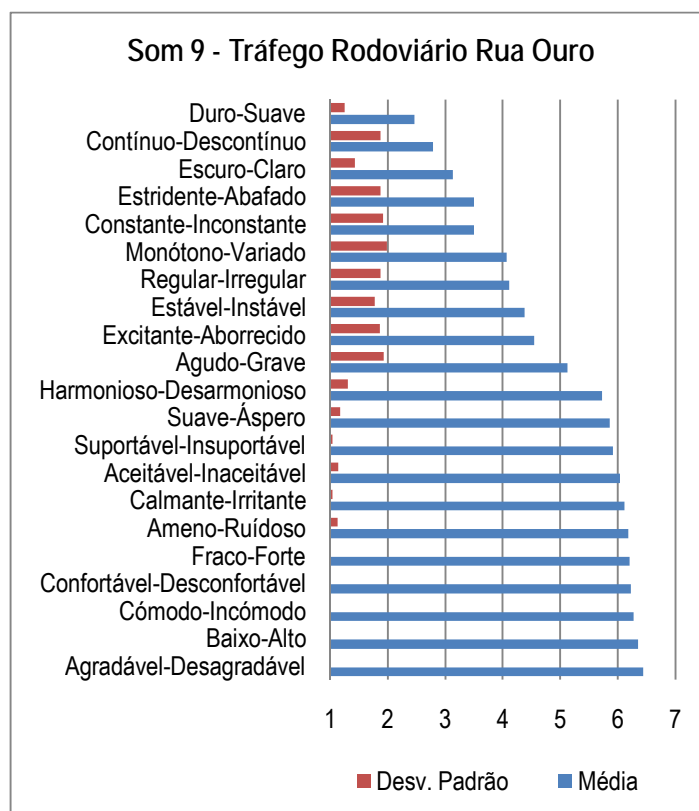


Figura 6.9 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 9

No que respeita ao som relativo ao registo áudio gravado na Rua do Ouro, em Lisboa (Figura 6.9), este é identificado pela maior parte dos participantes como desagradável, alto, incómodo, desconfortável e forte (desvio padrão praticamente nulo e intensidade da escala igual a 6). No entanto, também foi adjectivado como ruidoso, irritante e inaceitável. Na Figura 6.10, é possível visualizar que o som referente à passagem do metro de superfície, próximo do bairro de Francos, no Porto, foi classificado como ligeiramente desconfortável, incómodo, aborrecido e irritante. De facto, o valor da intensidade da escala nesta classificação não é tão significativo, sendo muito próxima de 4. Para o registo áudio associado à passagem do eléctrico articulado (v. em www.carris.pt, opção “Frota de eléctricos”), referenciado neste trabalho por eléctrico moderno, apresenta-se na Figura 6.11 o correspondente valor médio das respostas dos inquiridos. Este som é essencialmente adjectivado pela maior parte dos inquiridos como desagradável, alto, incómodo, desconfortável e forte, com uma intensidade de escala próxima de 6. Finalmente, o som correspondente ao registo áudio da passagem de um motociclo, com silenciador de ruído de escape, é aquele para o qual a intensidade da escala, em função dos adjectivos, é mais uniforme (entre 3 e 4), a par com o som relativo a passagem do metro de superfície. Este som é essencialmente caracterizado pelos adjectivos abafado e grave, para os quais corresponde uma pontuação para a intensidade de escala entre 4 e 5.

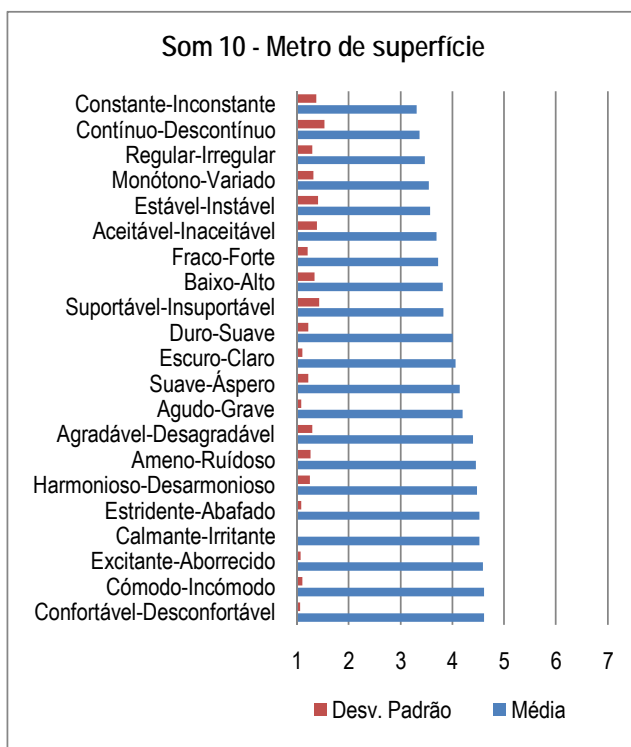


Figura 6.10 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 10

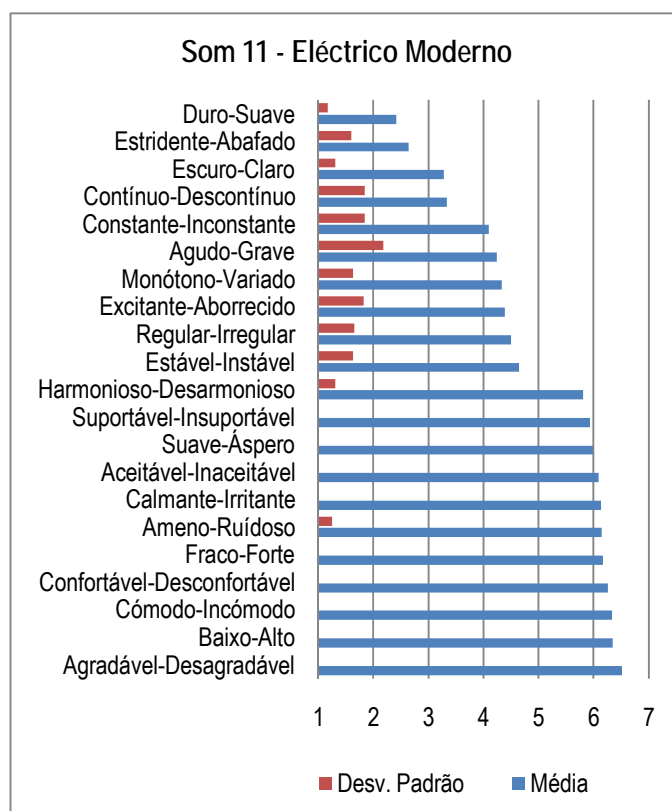


Figura 6.11 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 11

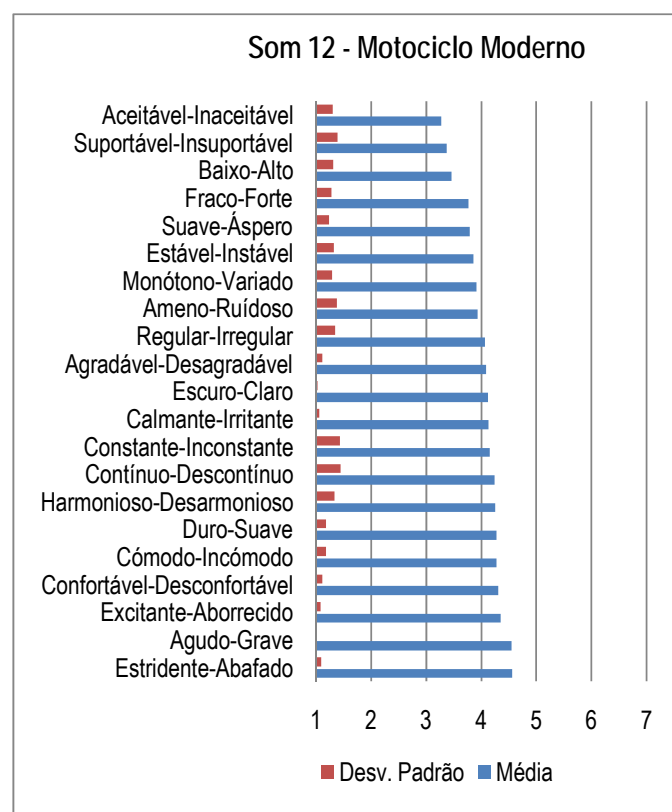


Figura 6.12 – Valores médios e desvio padrão para os pares de adjectivos do Som 12

6.2.3 Tratamento estatístico

Os dados obtidos no presente trabalho foram tratados com auxílio do pacote estatístico SPSS, versão 15. Em primeiro lugar, foi efectuada uma inspecção visual das distribuições via gráficos de histograma e estatísticas das frequências das variáveis. Os dados omissos foram analisados e os casos de valores extremos foram identificados. Após o ajuste dos dados, adoptaram-se procedimentos multivariados, como a análise factorial exploratória, aliadas a análise paralela, visando averiguar a estrutura dimensional da escala de diferencial semântico. Foi possível identificar subconjuntos de variáveis que estão muito correlacionadas entre si e pouco associadas a variáveis de outros subconjuntos. Este padrão de correlações passou a ser representado através de um menor número de variáveis, representando cada uma delas uma combinação linear das variáveis iniciais.

As componentes principais são calculadas por ordem decrescente de importância relativamente à respectiva contribuição para a explicação da variância total dos dados. Assim, a primeira componente corresponde à combinação linear que mais explica a variância total dos dados originais, a segunda componente é a que mais explica, do que ficou por explicar com a primeira e assim sucessivamente. A última componente é a que menos contribui para a explicação da variância total [Reis, 1997]. A avaliação da existência de correlações entre as variáveis de entrada foi efectuada a partir da análise da matriz de correlações da estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e do teste de Bartlett. Quanto mais elevado a estatística KMO, maior é a correlação que existe entre as variáveis de entrada, pelo que as componentes são mais consistentes. Usualmente, para a realização da análise de componentes principais, considera-se um valor de KMO entre 0,8 e 0,9 correspondente a uma adequabilidade boa, e um valor superior a 0,9, associado a muito boa. O teste de esfericidade de Bartlett permite testar a hipótese da matriz de correlações entre as variáveis ser uma matriz identidade, ou seja, não existir correlação entre qualquer par de variáveis, interessando rejeitar a hipótese nula (e portanto $p < 0,05$).

De modo a maximizar a contribuição de uma variável numa única componente, minimizando a sua contribuição nas restantes, bem como obter uma estrutura mais simplificada, uma vez que cada variável tende a ter um peso elevado numa única

componente, foi realizada uma rotação ortogonal da matriz de componentes, segundo o método Varimax [Elizabeth Reis, 1997].

A fiabilidade é uma medida da consistência interna, i.e., mede o grau com que os diferentes itens “indicam” o mesmo conceito, e é determinada pelo cálculo do parâmetro “alfa de Cronbach” em conjunto com a correlação do item-to-total. O alfa de Cronbach reflecte a homogeneidade da escala podendo variar entre 0 e 1. Um critério mínimo para a fiabilidade das escalas é o valor de alfa de Cronbach exceder o valor de 0,6, embora não seja uma norma absoluta [Reis, 1997]. Como os itens que apresentam baixa correlação na classificação total, contribuem para diminuir o alfa de Cronbach, considera-se igualmente, como critério, que a correlação do item-to-total de cada item da escala seja superior a 0.3 (em valor absoluto). Sempre que não se registou esta situação, os itens foram eliminados um a um, e a avaliação da existência de correlações entre as variáveis de entrada foi efectuada a partir da análise da matriz de correlações da estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e do teste de Bartlett.

A Tabela 6.2 apresenta os resultados da análise de componentes principais para o conjunto dos 12 sons estudados, para os quais a estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) apresenta um valor de 0,88, enquanto que para o teste de Bartlett se verifica $\chi^2(190) = 1612,3857$, $p = 0,000$.

A Figura 6.13 apresenta o perfil do diferencial semântico associado (constituído pelos valores médios de todos os pares de adjectivos), ordenado pela classificação em função dos factores extraídos pela análise de componentes principais. Neste caso, foram extraídos 4 factores que explicam cerca de 75% da variância. O primeiro factor sumariza os significados contidos em diversas escalas, entre os quais os pares, Confortável-Desconfortável, Calmante-Irritante, Cómodo-Incómodo, Agradável-Desagradável têm maior peso. É interessante notar que este factor indica uma avaliação qualitativa em termos de apreciação e de intensidade, constatando-se a inclusão dos pares Fraco-Forte e Baixo-Alto. Para este factor, o valor do alfa de Cronbach é igual a 0,95. O segundo factor compreende aspectos principalmente relacionados com as escalas Regular-Irregular, Constante-Inconstante, Estável-Instável, Contínuo-Descontínuo, ao qual está associado um alfa de Cronbach de 0,89. O terceiro factor, comparativamente mais pequeno do que os anteriores, é na sua maior parte representado pelas escalas Escuro-Claro e Duro-Suave, sendo para este caso o alfa de Cronbach igual a 0,79. Finalmente, o

quarto factor agrega as escalas Agudo-Grave e Abafado-Estridente, com um alfa de Cronbach igual a 0,3. Os seguintes nomes parecem os mais adequados para a designação destes quatro factores: Apreciação qualitativa (factor 1), Estabilidade Temporal (factor 2), Potência (factor 3) e Timbre (factor 4). Para esta análise final foi retirado o par Excitante-Aborrecido.

Tabela 6.2– Analise de componentes principais: média dos 12 sons

Média 12 sons	Componente			
	1	2	3	4
Confortável-Desconfortável	0,93			
Calmante-Irritante	0,92			
Cómodo-Incómodo	0,90			
Agradável-Desagradável	0,90			
Aceitável-Inaceitável	0,81	0,27		
Fraco-Forte	0,80	0,25		
Suportável-Insuportável	0,80	0,20		
Suave-Áspero	0,80		-0,27	
Baixo-Alto	0,79			
Ameno-Ruidoso	0,78			
Harmonioso-Desarmonioso	0,73		-0,23	
Regular-Irregular	0,08	0,91		
Constante-Inconstante	0,11	0,90		
Estável-Instável	0,15	0,86		
Contínuo-Descontínuo	0,06	0,79	0,20	
Monótono-Variado	0,03	0,74		-0,37
Escuro-Claro	-0,17		0,91	
Duro-Suave	-0,53		0,72	
Agudo-Grave	0,10			0,85
Estridente-Abafado	-0,47			0,58

Na Figura 6.13, que traduz o perfil do diferencial semântico associado à avaliação do conjunto dos 12 sons estudados, é possível identificar que o som para o qual está associada uma avaliação qualitativa mais depreciativa é o correspondente à passagem de um avião, caracterizado como o mais desconfortável, o mais incómodo, o mais desagradável, e o mais forte e alto. Depois, seguem-se-lhe os sons relativos à passagem do eléctrico moderno, do tráfego rodoviário na VCI e da passagem do motociclo com ruído de escape. No outro extremo, situam-se os sons associados ao tráfego rodoviário do Cais do Sodré e o som associado à passagem do metro de superfície. No que respeita à estrutura temporal, o som considerado como o mais irregular, inconstante e instável é o

som associado à passagem do motociclo com ruído de escape. Para o factor potência, é o som da passagem do avião que é considerado como o mais intenso, ao qual se segue a passagem do motociclo com ruído de escape. Finalmente, no que respeita ao factor timbre, é, mais uma vez, o som do avião que é considerado como mais estridente, estando o som relativo à passagem do motociclo com silenciador de escape posicionado no extremo oposto.

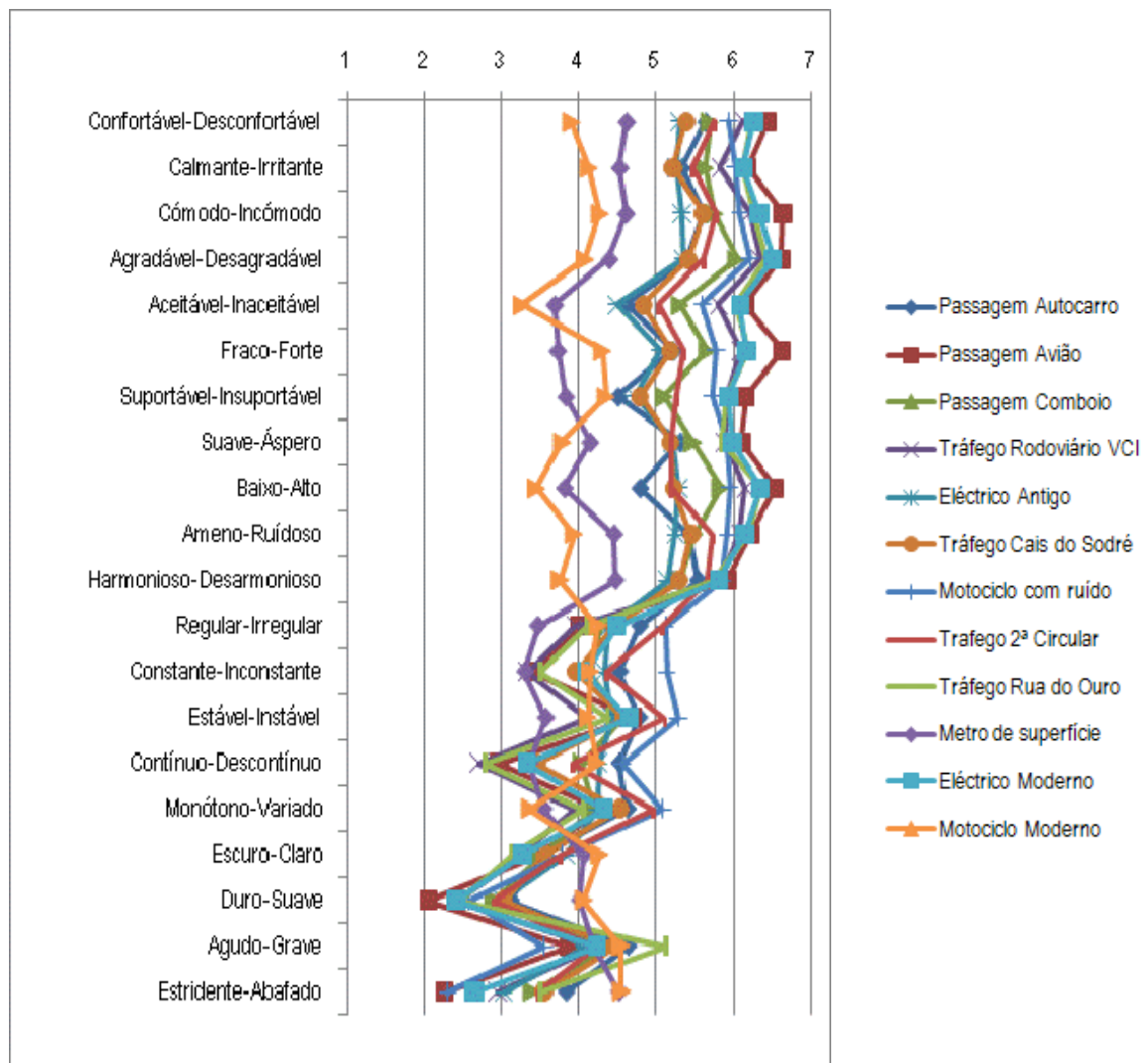


Figura 6.13 – Perfil do diferencial semântico para cada um dos 12 sons

Relativamente à desagregação dos sons referentes ao ruído de tráfego rodoviário, cujos registos áudio possuíam uma duração superior a 30 segundos, verifica-se o mesmo tipo de estrutura factorial (Tabela 6.3). Neste caso, o valor da estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) é igual a 0,88, enquanto que para o teste de Bartlett se verifica $\chi^2 (190) = 1517,3312$, $p = 0,000$.

O primeiro factor sumariza os significados contidos em diversas escalas, entre as quais os pares Cómodo-Incómodo, Calmante-Irritante, Confortável-Desconfortável, Aceitável-Inaceitável, tem maior peso. Tal como no caso anterior, é interessante notar que este factor possibilita uma avaliação em termos de apreciação e de intensidade. Para este factor, o valor do alfa de Cronbach é igual a 0,93.

Tabela 6.3– Análise de componentes principais: sons de tráfego rodoviário (com duração)

Média dos sons: 4;6;8 e 9	Componente			
	1	2	3	4
Cómodo-Incómodo	0,88			
Calmante-Irritante	0,86			
Confortável-Desconfortável	0,84			
Aceitável-Inaceitável	0,81			
Suave-Áspero	0,79		-0,22	
Suportável-Insuportável	0,79			0,20
Baixo-Alto	0,76			
Frac-Forte	0,76	0,25		
Agradável-Desagradável	0,75			
Ameno-Ruidoso	0,65			
Harmonioso-Desarmonioso	0,64	0,24	-0,22	0,21
Regular-Irregular		0,90	-0,20	
Estável-Instável	0,11	0,88	-0,20	
Constante-Inconstante		0,86		
Contínuo-Descontínuo		0,82		
Monótono-Variado		0,76	-0,20	
Escuro-Claro	-0,14		0,90	
Duro-Suave	-0,39		0,75	
Agudo-Grave	0,22			0,88
Estridente-Abafado	-0,35	-0,28		0,45

O segundo factor compreende aspectos principalmente relacionados com as escalas Regular-Irregular, Estável-Instável, Constante-Inconstante e Contínuo-Descontínuo, para o qual está associado um alfa de Cronbach de 0,89. O terceiro factor, comparativamente

mais pequeno que os anteriores, é, na sua maior parte, representado pelas escalas Escuro-Claro e Duro-Suave, sendo para este caso o alfa de Cronbach igual a 0,75. Finalmente, o quarto factor agrega as escalas Agudo-Grave e Abafado-Estridente, com um alfa de Cronbach igual a 0,3. Tal como no caso anterior, os factores foram designados como Apreciação Qualitativa (factor 1), Estabilidade Temporal (factor 2), Potência (factor 3) e Timbre (factor 4). Nesta análise final, foi retirado o par Excitante-Aborrecido. A Figura 6.14 apresenta o perfil do diferencial semântico associado, ordenado pela classificação em função dos factores extraídos pela análise de componentes principais. Nesta análise, os 4 factores extraídos explicam cerca de 75% da variância. Para esta análise final, foi retirado o par Excitante-Aborrecido.

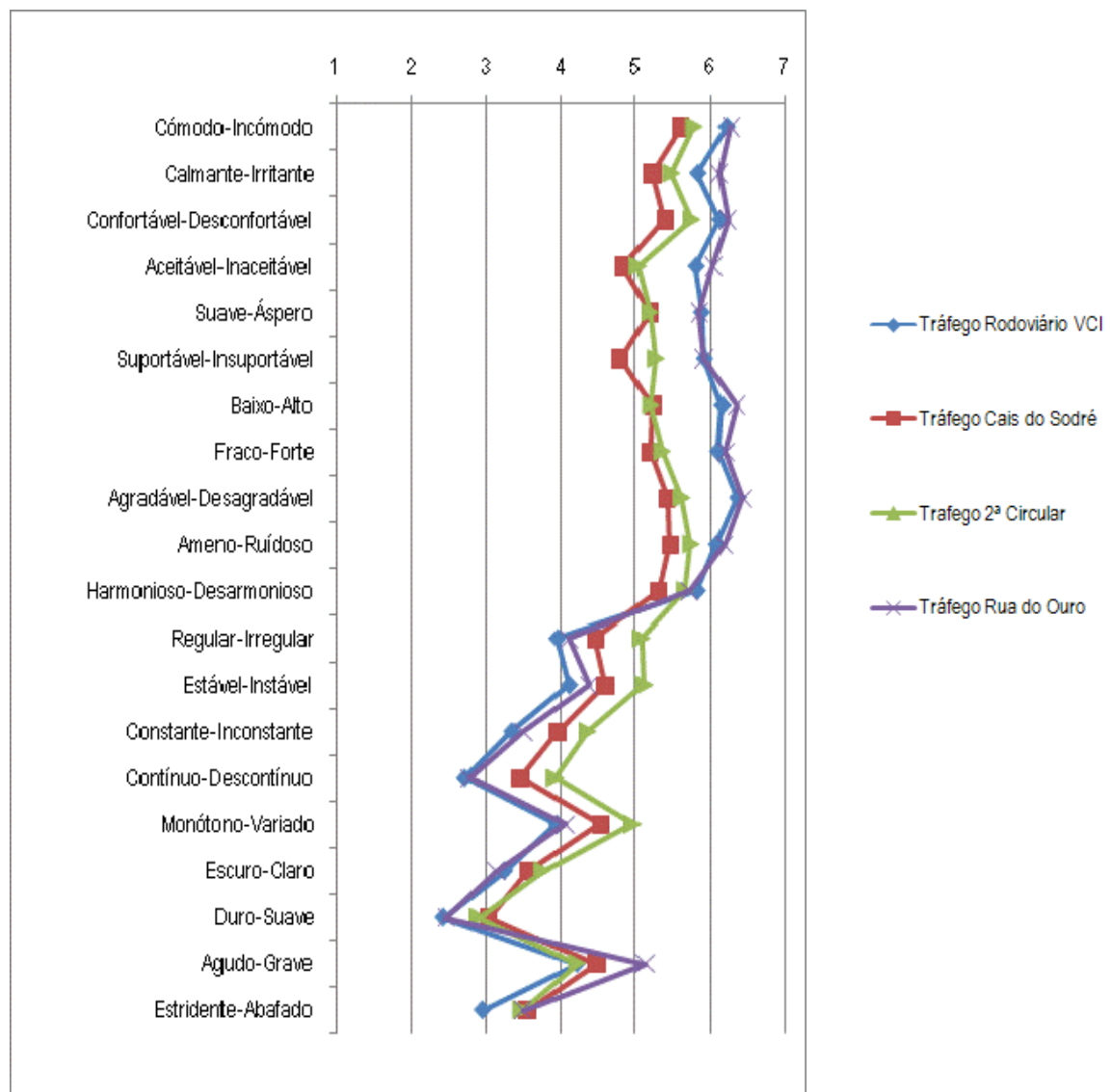


Figura 6.14 – Perfil do diferencial semântico para os sons de tráfego rodoviário (com duração superior a um minuto)

Na Figura 6.14, é possível verificar que os pares de sons para os quais estão associados uma avaliação qualitativa mais depreciativa são os sons correspondentes ao tráfego rodoviário na Rua do Ouro, caracterizada por uma estrutura de edificado muito próxima da via, em ambos os lados, com a mesma altura, e o tráfego rodoviário na VCI, também associado a uma disposição do edificado em ambos os lados da via, mas mais aberta que a anterior, possuindo, no entanto, a particularidade de o tráfego de veículos pesados ser muito elevado. No extremo oposto, tem-se os registos sonoros associados ao tráfego rodoviário na Praça do Cais do Sodré e na 2ª Circular, em Lisboa. Ambos os locais, caracterizados por uma estrutura de edificado mais aberta, não fomentam fenómenos de reflexão sonora nas fachadas dos edifícios. No que respeita à estrutura temporal, os sons correspondentes ao tráfego rodoviário na Rua do Ouro e ao tráfego rodoviário na VCI são considerados como os mais estáveis, constantes e contínuos. Para o factor potência, mais uma vez, são os sons correspondentes ao tráfego rodoviário na rua do Ouro e o tráfego rodoviário na VCI, que se consideram como mais intensos, sendo também os mais estridentes (factor 4, timbre).

Relativamente à desagregação dos sons referentes à passagem de veículos (Tabela 6.4), verifica-se que a correspondente estrutura factorial é ligeiramente diferente, aumentando o seu número numa unidade, o que pode sugerir uma ligeira diferença na avaliação de sons emergentes, relativamente a sons integrados no ruído de fundo.

Neste caso, a estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) tem um valor de 0,88, enquanto que para o teste de Bartlett se verifica $\chi^2(190) = 1447,7392$, $p = 0,000$. A Figura 6.15 apresenta o perfil do diferencial semântico associado, ordenado pela classificação em função dos factores extraídos pela análise de componentes principais. Nesta análise foram extraídos 4 factores que explicam cerca de 74% da variância.

O primeiro factor sumariza os significados contidos em diversas escalas, entre das quais os pares Cómodo-Incómodo, Confortável-Desconfortável, Agradável-Desagradável, Suave-Aspero e Calmante-Irritante têm maior peso. Mais uma vez, nota-se que este factor indica uma avaliação qualitativa em termos de apreciação e de intensidade, pois integra pares como Confortável-Desconfortável, Baixo-Alto e Fraco-Forte. Para este primeiro factor, o valor do alfa de Cronbach é igual a 0,89. O segundo factor compreende aspectos principalmente relacionados com as escalas Constante-Inconstante, Regular-Irregular, Continuo-Descontinuo e Estável-Instável, ao qual está associado um alfa de

Cronbach de 0,81. O terceiro factor, comparativamente mais pequeno que os anteriores, é, na sua maior parte, representado pelas escalas Abafado-Estridente e Monótono-Variado. Os dois últimos factores são representados por pares únicos, designadamente o factor 4 pelo par Escuro-Claro, e o factor cinco pelo par Agudo-Grave. Os seguintes nomes parecem os mais adequados para a designação destes quatro factores: Apreciação qualitativa (factor 1), Estabilidade Temporal (factor 2), Variação (factor 3), Potência (factor 4) e Timbre (factor 5). Nesta análise final, foi retirado o par Excitante-Aborrecido.

Tabela 6.4 – Análise de componentes principais: sons de passagens de veículos

Média dos sons: 1,5,7, 12 e 13	Componente				
	1	2	3	4	5
Cómodo-Incómodo	0,88				
Confortável-Desconfortável	0,87				
Agradável-Desagradável	0,85				
Suave-Áspero	0,83				
Calmanete-Irritante	0,83		0,27		
Ameno-Ruidoso	0,77				
Baixo-Alto	0,71				
Fraco-Forte	0,71		0,45		
Aceitável-Inaceitável	0,70		0,42		
Duro-Suave	-0,68			0,55	
Harmonioso-Desarmonioso	0,68		0,32	-0,34	
Suportável-Insuportável	0,63		0,50		
Constante-Inconstante		0,87			
Regular-Irregular		0,81	0,22		
Contínuo-Descontínuo		0,80			
Estável-Instável		0,71	0,41		
Abafado- Estridente	-0,43		-0,70		
Monótono-Variado		0,57	0,60		
Escuro-Claro				0,91	
Agudo-Grave					0,95

Na Figura 6.15 é possível verificar que os pares de sons para os quais está associada uma avaliação qualitativa mais depreciativa são os que correspondem à passagem de um eléctrico moderno e de um motociclo com ruído de escape. Esta classificação engloba o factor de apreciação qualitativa, bem como os factores variação e potência. No extremo oposto, localiza-se a passagem do motociclo com silenciador de ruído de escape.

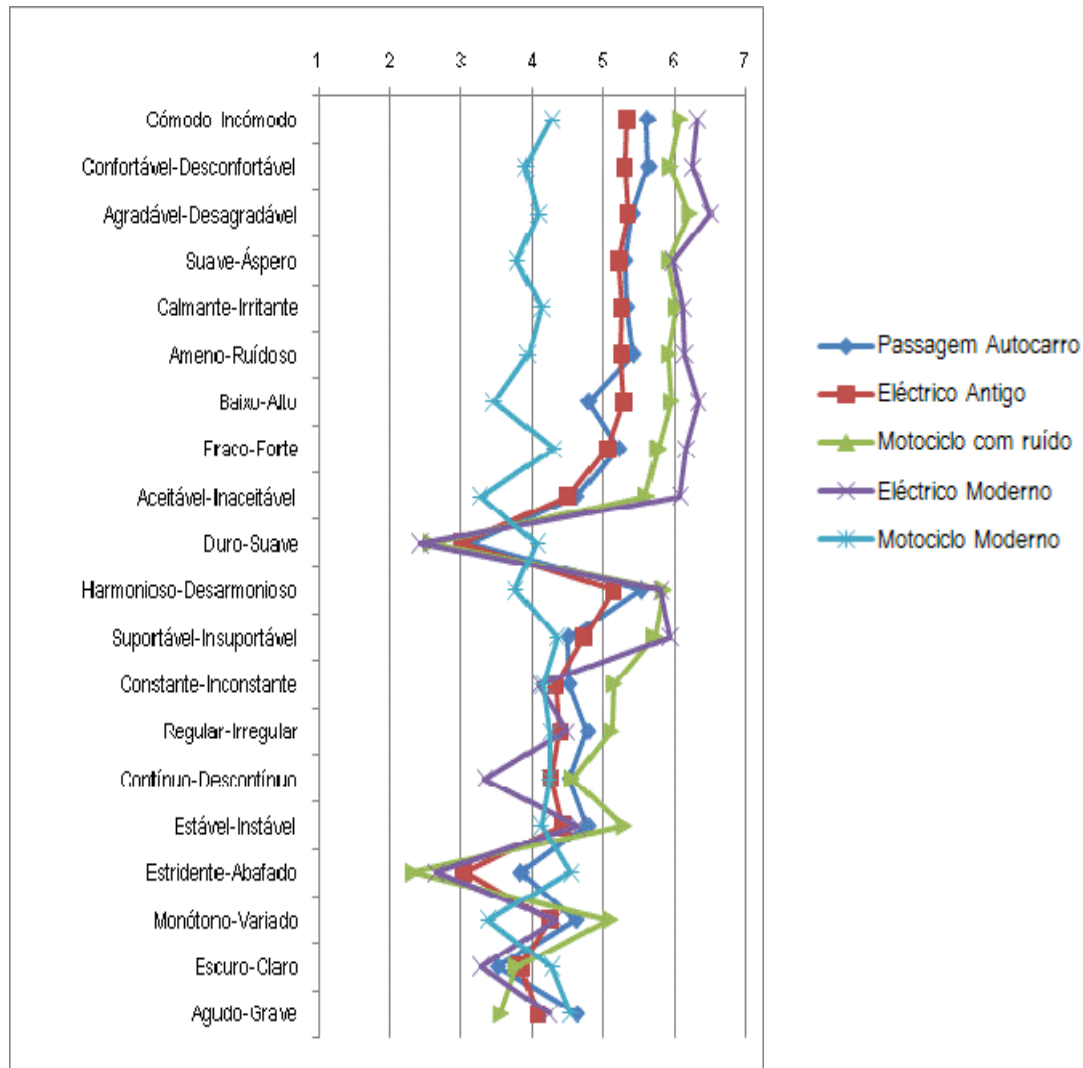


Figura 6.15 – Perfil do diferencial semântico para os sons de tráfego rodoviário (passagens de veículos)

Já no que diz respeito ao ruído de tráfego ferroviário, a estrutura em 5 componentes é mantida (Tabela 6.5). Neste caso, a estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) tem um valor de 0,85, enquanto que para o teste de Bartlett se verifica $\chi^2(210) = 1347,338$, $p = 0,000$. Os cinco factores extraídos explicam cerca de 68% da variância. O primeiro factor sumariza os significados contidos em diversas escalas, entre as quais os pares Confortável-Desconfortável, Aceitável-Inaceitável, Calmante-Irritante, Suportável-Insuportável e Cómodo-Incomodo têm maior peso. Para este primeiro factor, o valor do alfa de Cronbach é igual a 0,88. O segundo factor compreende aspectos principalmente relacionados com as escalas Estável-Instável e Regular-Irregular, ao qual está associado um alfa de Cronbach de 0,82. O terceiro factor, comparativamente mais pequeno que os anteriores, ao qual está associado um alfa de Cronbach de 0,5, é, na sua maior parte

representado pelas escalas Excitante-Aborrecido e Escuro-Claro. Ao factor 4, representado pelos pares Agudo-Grave e Estridente-Abafado, está associado um alfa de Cronbach de 0,4. O último factor é representado por um par único, designadamente o par Contínuo-Descontínuo. Os seguintes nomes parecem ser os mais adequados para a designação destes quatro factores: Apreciação Qualitativa (factor 1), Estabilidade Temporal (factor 2), Potencia (factor 3), Timbre (factor 4) e Variação (factor 5).

Tabela 6.5 – Análise de componentes principais: tráfego ferroviário

Média dos sons: 3,10	Componente				
	1	2	3	4	5
Confortável-Desconfortável	0,86				
Aceitável-Inaceitável	0,83				
Calmante-Irritante	0,82				
Suportável-Insuportável	0,81	0,24			
Cómodo-Incómodo	0,81				
Agradável-Desagradável	0,78				
Fraco-Forte	0,72	0,25			0,22
Ameno-Ruidoso	0,72				0,22
Suave-Áspero	0,71		0,24		
Harmonioso-Desarmonioso	0,63	0,38	0,25		
Duro-Suave	-0,57		-0,52		
Baixo-Alto	0,56				0,52
Estável-Instável	0,20	0,86			
Regular-Irregular	0,21	0,78			
Constante-Inconstante	0,12	0,71			0,39
Monótono-Variado	0,11	0,69			
Excitante-Aborrecido		-0,31	0,76		
Escuro-Claro	-0,21		-0,58	0,42	-0,28
Agudo-Grave				-0,78	
Estridente-Abafado				-0,71	-0,31
Contínuo-Descontínuo		0,49			0,71

A Figura 6.16 apresenta o perfil do diferencial semântico associado, ordenado pela classificação em função dos factores extraídos pela análise de componentes principais. Pela análise desta Figura é possível verificar que os sons associados ao ruído de tráfego ferroviário são avaliados de modo mais uniforme para todos os factores, verificando-se uma preferência para o som associado à passagem do metro de superfície, comparativamente com a passagem do comboio.

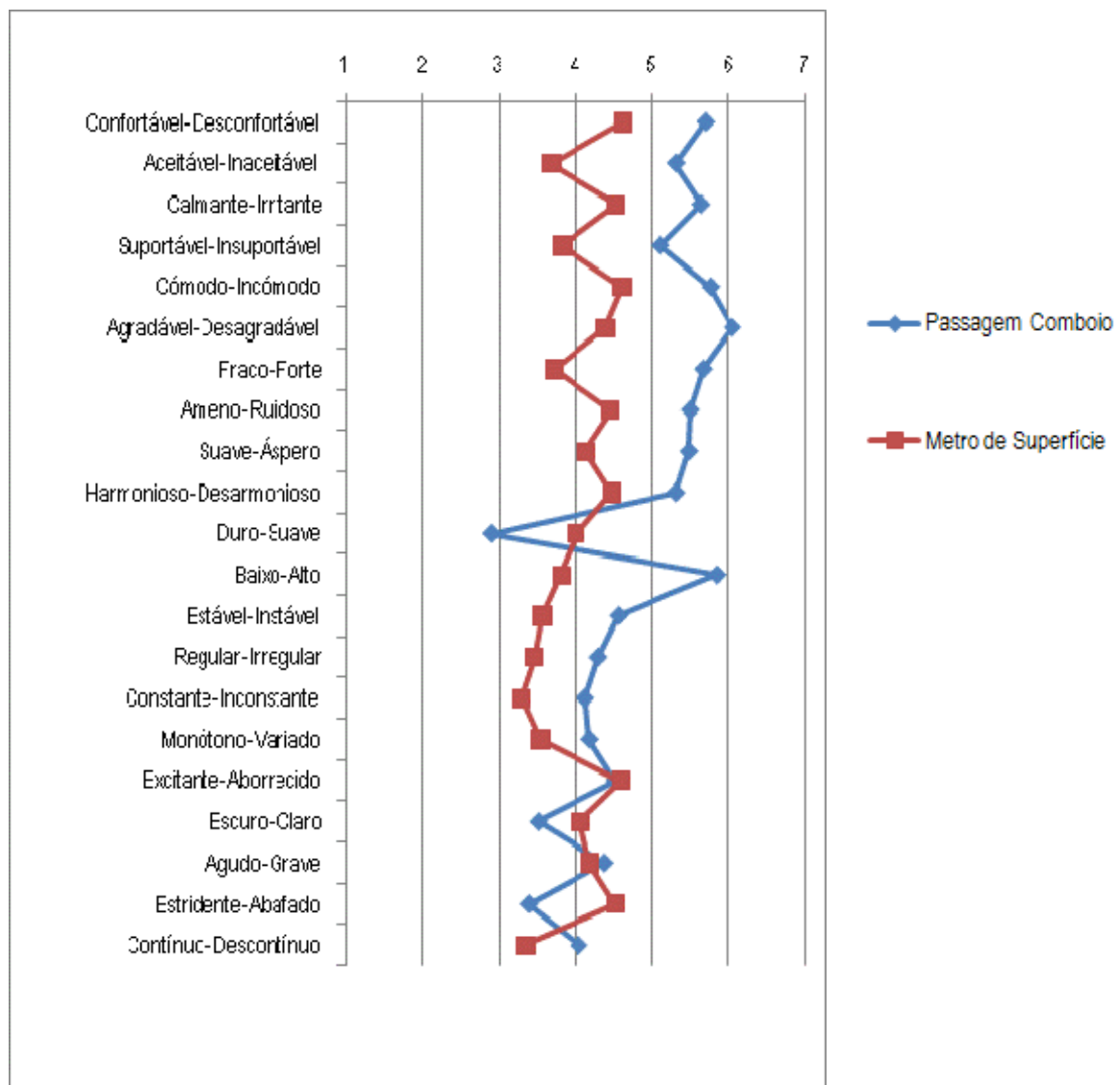


Figura 6.16 – Perfil do diferencial semântico para os sons de tráfego ferroviário (passagens de veículos)

O som correspondente à passagem de um avião obteve uma estrutura factorial distinta das anteriores, onde foram extraídas no total 6 componentes principais (Tabela 6.6). A estatística Kaiser-Meyer-Olkin, tem neste caso um valor de 0,75, enquanto que para o teste de Bartlett se verifica $\chi^2(210)=1347,338$, $p = 0,000$.

Tabela 6.6– Análise de componentes principais: tráfego aéreo

Som 2	Componente					
	1	2	3	4	5	6
Aceitável-Inaceitável	0,78					
Calmante-Irritante	0,73	0,32				
Baixo-Alto	0,72	0,37				
Ameno-Ruidoso	0,63			0,26		
Duro-Suave	-0,45	-0,30			-0,31	0,23
Agradável-Desagradável	0,30	0,81				
Cómodo-Incômodo	0,43	0,71				
Suave-Áspero		0,59			0,39	-0,20
Fraco-Forte		0,55		0,43		
Constante-Inconstante			0,80			
Contínuo-Descontínuo	-0,31		0,79			
Estável-Instável			0,62			
Suportável-Insuportável	0,42			0,78		
Confortável-Desconfortável		0,40		0,75		
Harmonioso-Desarmonioso				0,51	0,50	
Excitante-Aborrecido					0,65	
Escuro-Claro			0,22		-0,58	-0,36
Estridente-Abafado		-0,36	-0,19		-0,53	
Monótono-Variado		-0,14	0,20			0,77
Regular-Irregular			0,44		0,24	0,67
Agudo-Grave	0,24	-0,46	0,27			-0,57

O primeiro factor sumariza os significados contidos em diversas escalas, de entre os quais os pares Aceitável-Inaceitável, Calmante-Irritante e Baixo-Alto. Para o primeiro factor o valor do alfa de Cronbach é igual a 0,5. O segundo factor compreende aspectos principalmente relacionados com as escalas Agradável-Desagradável e Cómodo-Incômodo, e está associado a um alfa de Cronbach de 0,79. O terceiro factor está essencialmente associado aos pares Constante-Inconstante e Contínuo-Descontínuo, apresentando um valor do alfa de Cronbach igual a 0,66. O quarto factor compreende aspectos principalmente relacionados com as escalas Suportável-Insuportável e Confortável-Desconfortável, sendo o valor do alfa de Cronbach é de 0,7. O quinto factor é representado pelos pares Excitante-Aborrecido, Escuro-Claro, e Estridente-Abafado, apresentando um alfa de Cronbach de 0,5. O último factor (factor 6) é essencialmente representado pelos pares Monótono-Variado e Regular-Irregular, sendo o alfa de

Cronbach igual a 0,2. Em virtude do grande cruzamento de significados atribuídos aos adjectivos de cada factor, optou-se pela sua designação numérica.

A Figura 6.17 apresenta o perfil do diferencial semântico associado, ordenado pela classificação em função dos factores extraídos pela análise de componentes principais. Os seis factores extraídos explicam cerca de 68% da variância.

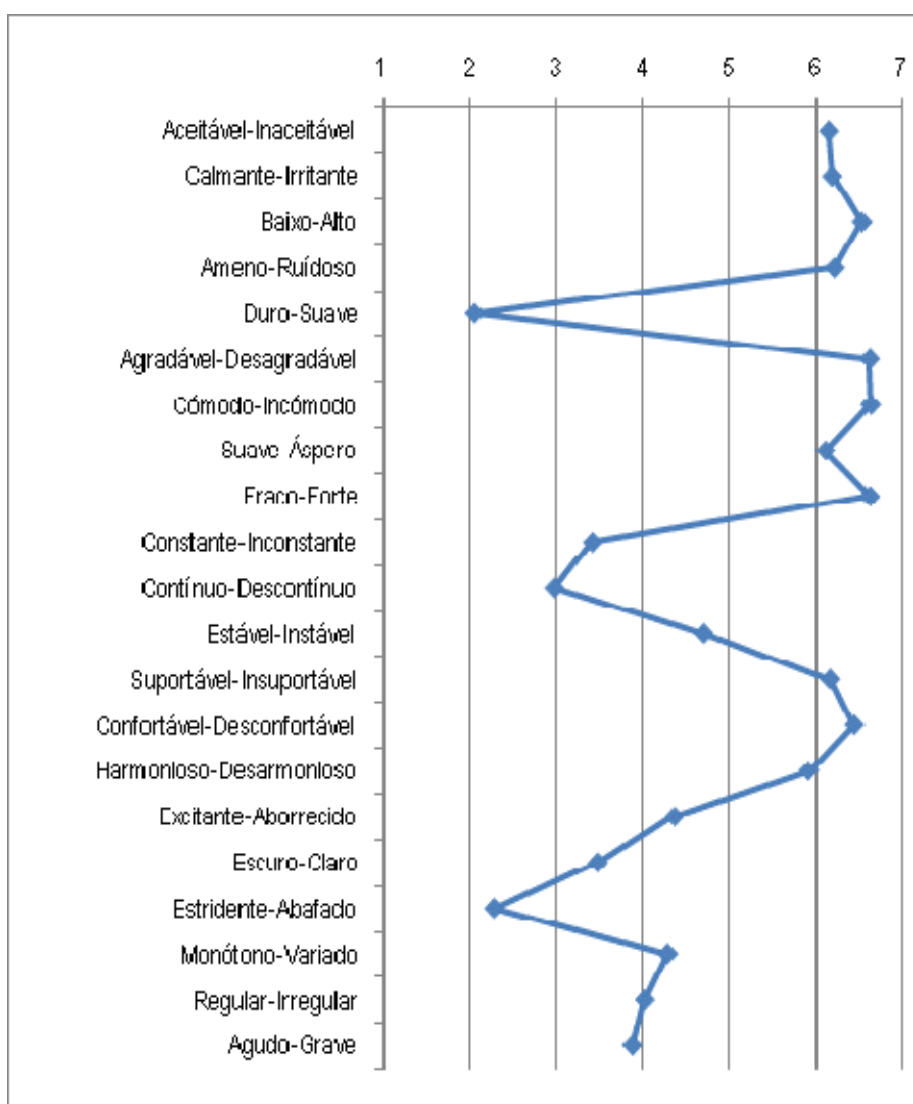


Figura 6.17 – Perfil do diferencial semântico para o som de tráfego aéreo

6.2.4 Associação entre parâmetros físicos e os dados de percepção

Para o conjunto de 12 sons que integraram o inquérito para a avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face às fontes de ruído de tráfego presentes em zonas urbanas,

apresenta-se nas Figuras 6.18 a 6.56 todas as associações não paramétricas, significativas, obtidas entre os pares de adjetivos (apreciação qualitativa) e os correspondentes parâmetros físicos dos registos áudio associados aos 12 sons. Esta associação não paramétrica foi avaliada em termos dos coeficientes de correlação bivariada das variáveis, designadamente o *Rho de Spearman*. Este coeficiente mede a correlação entre variáveis de natureza qualitativa (ordinal e nominal) e fornece informação acerca da intensidade e sentido da relação, variando entre -1 e 1. Nos gráficos das Figuras 6.18 a 6.21 apresentam-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Aceitável-Inaceitável e os parâmetros físicos e psicoacústicos: *agudeza*, *sensação de intensidade auditiva*, nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A e ponderado C, e nível percentil de 5%, 10% e 50%, da *sensação de intensidade auditiva*. Nos referidos gráficos apresenta-se também o valor do *Rho de Spearman* (ρ_s) e correspondente nível de significância (p), para a referida associação.

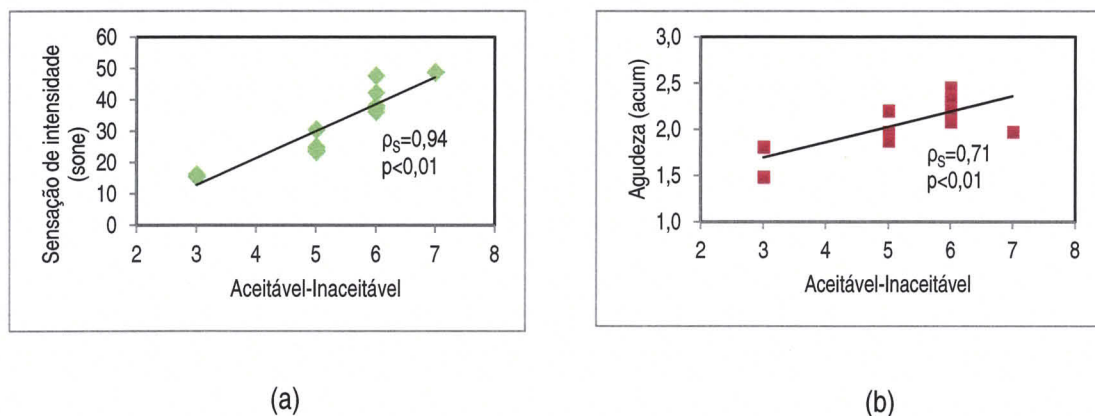


Figura 6.18 – Correlação entre a *sensação de intensidade auditiva* (a), a *agudeza* (b) e a classificação do par Aceitável-Inaceitável

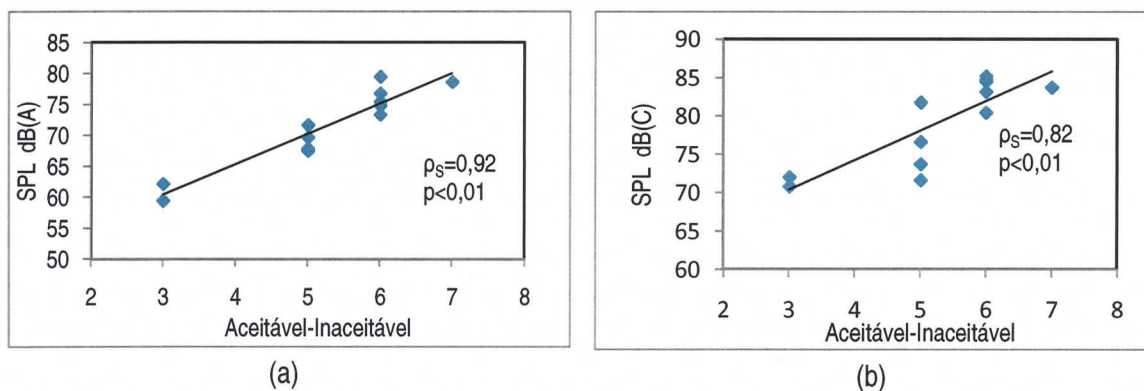


Figura 6.19 – Correlação entre o (a) nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C e a classificação do par Aceitável-Inaceitável

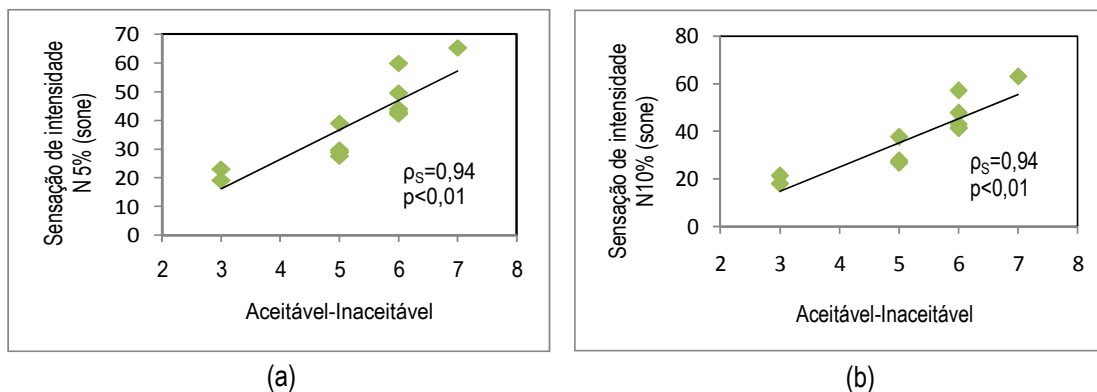


Figura 6.20 – Correlação entre os níveis percentil de (a) 5% e (b) 10%, para a *sensação de intensidade auditiva* e a classificação do par Aceitável-Inaceitável

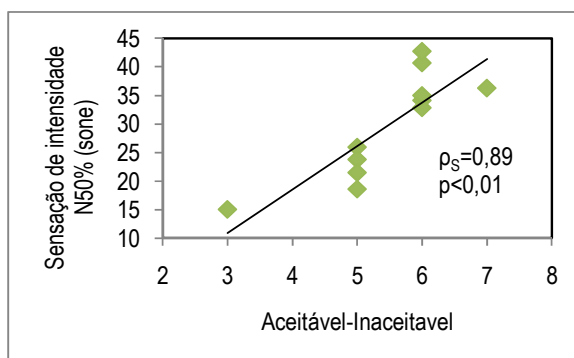


Figura 6.21 – Correlação entre o nível percentil de 50% para a *sensação de intensidade auditiva*, e a classificação do par Aceitável-Inaceitável

Da análise dos gráficos apresentados nas Figuras 6.18 a 6.21, verifica-se a existência de associações positivas, fortes e significativas entre a classificação para o par de adjectivos Aceitável-Inaceitável e os parâmetros físicos e psicoacústicos, baseados na medição do nível sonoro ponderado A e C, da *sensação de intensidade auditiva* e correspondentes percentis de 5%,10% e 50%, bem como com o parâmetro psicoacústico *agudeza*. Pode-se também constatar que as associações de intensidade mais forte ocorrem com as grandezas psicoacústicas, designadamente com a *sensação de intensidade auditiva*, e correspondente percentil de 5% e 10%. Refira-se que, na análise de componentes principais para o conjunto dos 12 sons, o par Aceitável-Inaceitável estava integrado no factor *Apreciação Qualitativa*, apresentando uma correlação com este factor muito elevada (0,9, como se pode verificar na Tabela 6.2).

Nos gráficos das Figuras 6.22 a 6.25, apresentam-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Agradável-Desagradável e os parâmetros físicos e psicoacústicos,

sensação de intensidade auditiva, nível sonoro contínuo equivalente, linear, ponderado A e ponderado C, e percentil de 5%, 10% e 50% da *sensação de intensidade auditiva*.

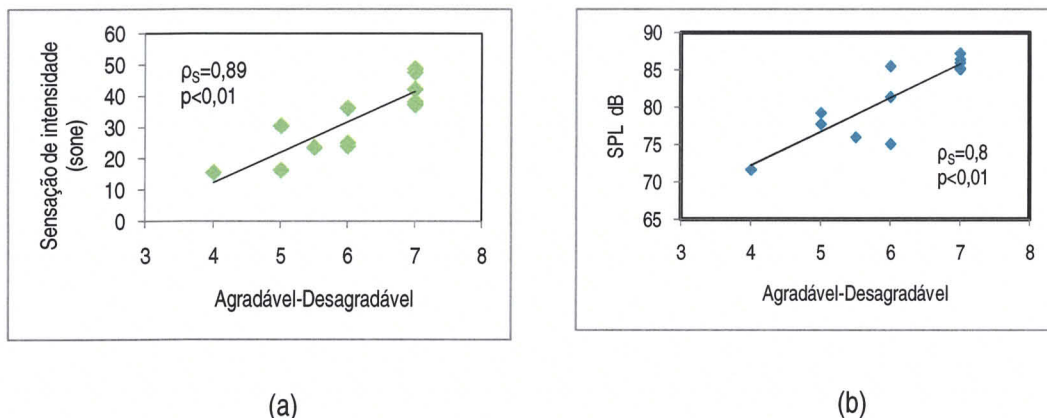


Figura 6.22 – Correlação entre (a) a *sensação de intensidade auditiva*, (b) o nível sonoro e a classificação do par Agradável-Desagradável

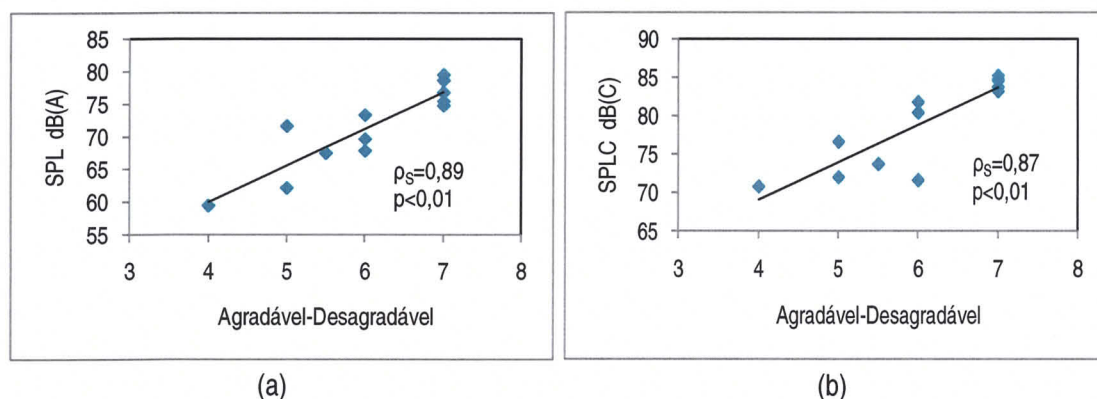


Figura 6.23 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C e a classificação do par Agradável-Desagradável

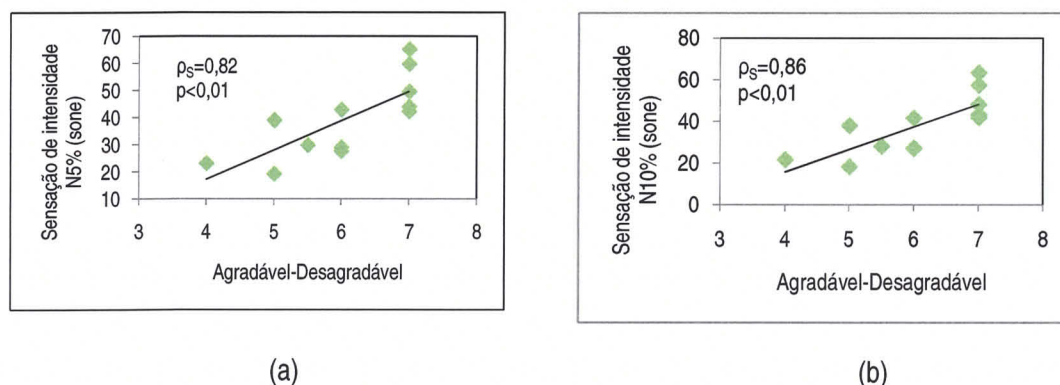


Figura 6.24 – Correlação entre os níveis percentil de 5% (Figura da esquerda) e 10% (Figura da direita) para a *sensação de intensidade auditiva* e a classificação do par Agradável-Desagradável

Da análise dos gráficos apresentados nas Figuras 6.22 a 6.25, verifica-se a existência de associações fortes, positivas e significativas entre a classificação para o par de adjectivos Agradável-Desagradável, os parâmetros físicos e psicoacústicos baseados na medição do nível sonoro, ponderado linear, A e C, *sensação de intensidade auditiva* e os níveis percentis associados de 5%, 10% e 50%. É também possível constatar que a associação mais forte se observa com o nível de *sensação de intensidade auditiva* e com o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A. Tal como no caso anterior, o par Agradável-Desagradável está integrado no factor Apreciação Qualitativa, apresentando uma correlação com este factor muito elevada (0,9, como se pode verificar na Figura 6.2).

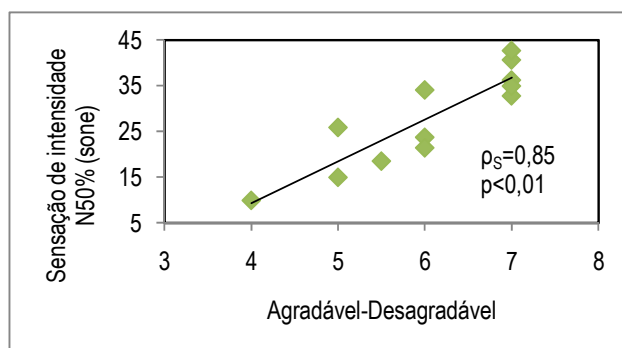


Figura 6.25 – Correlação entre o nível percentil de 50% para a *sensação de intensidade auditiva*, e a classificação do par Agradável-Desagradável

Nos gráficos das Figuras 6.26 a 6.28, apresentam-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Calmante-Irritante e os parâmetros físicos e psicoacústicos *sensação de intensidade auditiva*, nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A e ponderado C, e percentil de 5%, 10% e 50% da *sensação de intensidade auditiva*. Pela análise destas Figuras, verifica-se a existência de associações positivas, fortes e significativas entre a classificação atribuída ao par de adjectivos Calmante-Irritante e os parâmetros físicos e psicoacústicos baseados na medição do nível sonoro, ponderado A e ponderado C, a *sensação de intensidade auditiva* e os níveis percentis associados de 5%, 10% e 50%. É também possível constatar que a associação mais forte se verifica para a *sensação de intensidade auditiva*, designadamente com o percentil 10%. Tal como no caso anterior, o par Agradável-Desagradável está integrado no factor Apreciação Qualitativa, apresentando uma correlação com este factor muito elevada (0,92, como se observa na Figura 6.2).

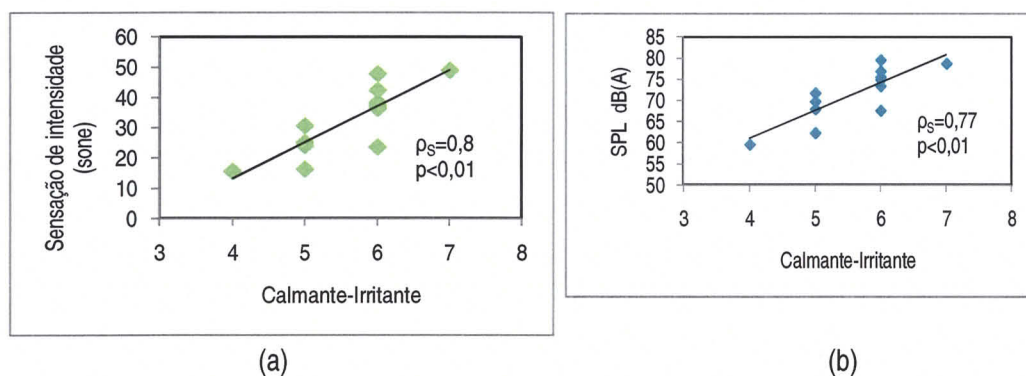


Figura 6.26 – Correlação entre (a) a *sensação de intensidade auditiva*, (b) o nível sonoro ponderado A e a classificação do par Calmante-Irritante

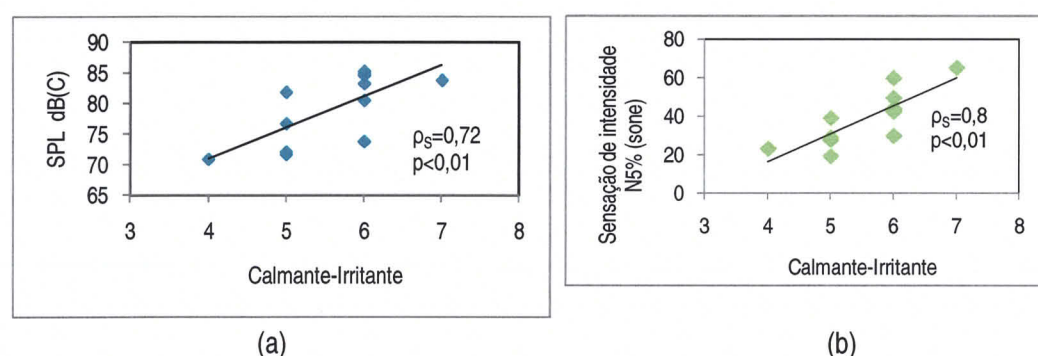


Figura 6.27 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível percentil de 5% para a *sensação de intensidade auditiva* e a classificação do par Calmante-Irritante

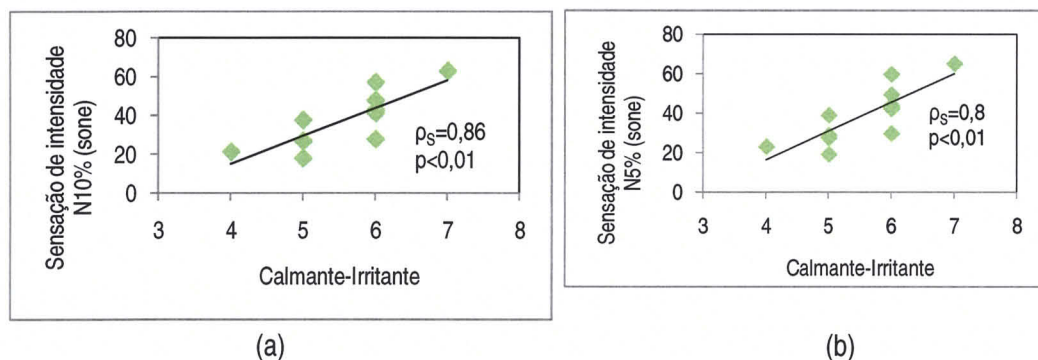


Figura 6.28 – Correlação entre os níveis percentil de (a) 10% e (b) de 50% para a *sensação de intensidade auditiva* e a classificação do par Calmante-Irritante

Nos gráficos das Figuras 6.29 a 6.31 apresenta-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Cómodo-Incómodo e os parâmetros físicos e psicoacústicos *sensação de intensidade auditiva*, nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A e ponderado C, e nível percentil de 5% e 10% da *sensação de intensidade auditiva*.

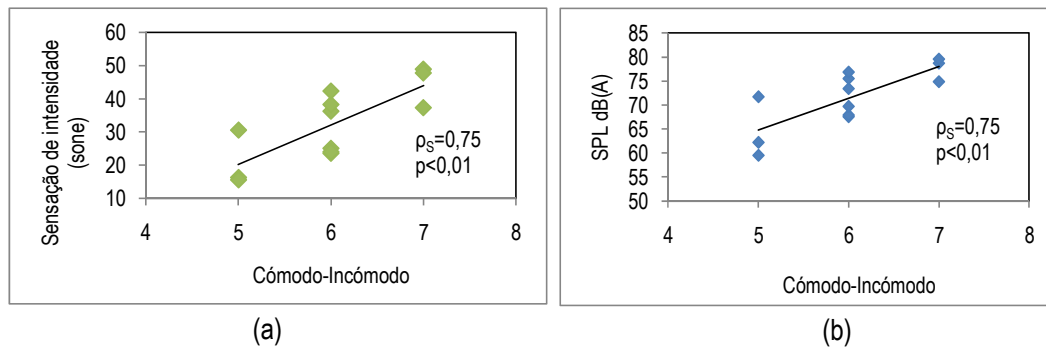


Figura 6.29 – Correlação entre a *sensação de intensidade auditiva* (Figura da esquerda), o nível sonoro ponderado A (Figura da direita) e a classificação do par Cómodo-Incômodo

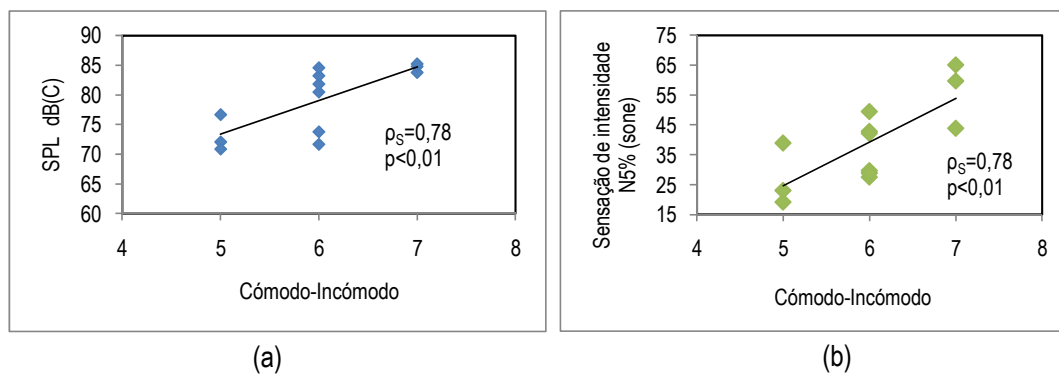


Figura 6.30 – Correlação entre o nível sonoro ponderado C (Figura da esquerda), o nível percentil de 5% para a *sensação de intensidade auditiva* (Figura da direita) e a classificação do par Cómodo-Incômodo

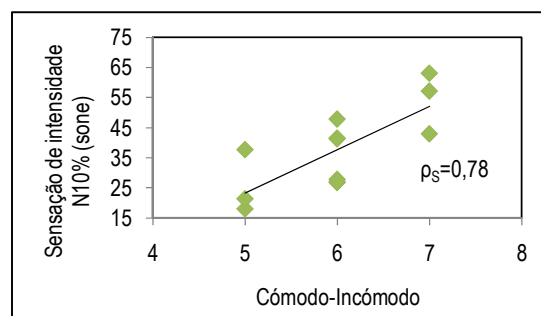


Figura 6.31 – Correlação entre o nível percentil de 10% para a *sensação de intensidade auditiva* e a classificação do par Cómodo-Incômodo

Da análise das Figuras 6.29 a 6.31, verifica-se a existência de associações positivas, fortes e significativas entre a classificação do par de adjetivos Cómodo-Incômodo e os parâmetros físicos e psicoacústicos baseados na medição do nível sonoro, ponderado A e ponderado C, e da *sensação de intensidade auditiva* e respectivos percentis de 5% e 10%. Verifica-se também que a intensidade é superior para o nível sonoro contínuo equivalente ponderado C, e para os percentis de 5% e 10% da *sensação de intensidade*

auditiva. Tal foi como referido anteriormente, este par de adjetivos está integrado no factor Apreciação Qualitativa, apresentando uma correlação com este factor muito elevada (0,9 como se pode verificar na Tabela 6.2).

Nos gráficos das Figuras 6.32 a 6.35, apresentam-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Suportável-Insuportável e os parâmetros físicos e psicoacústicos *sensação de intensidade auditiva*, nível sonoro contínuo equivalente ponderado A e ponderado C, e os percentis de 5%, 10% e 50% da *sensação de intensidade auditiva*.

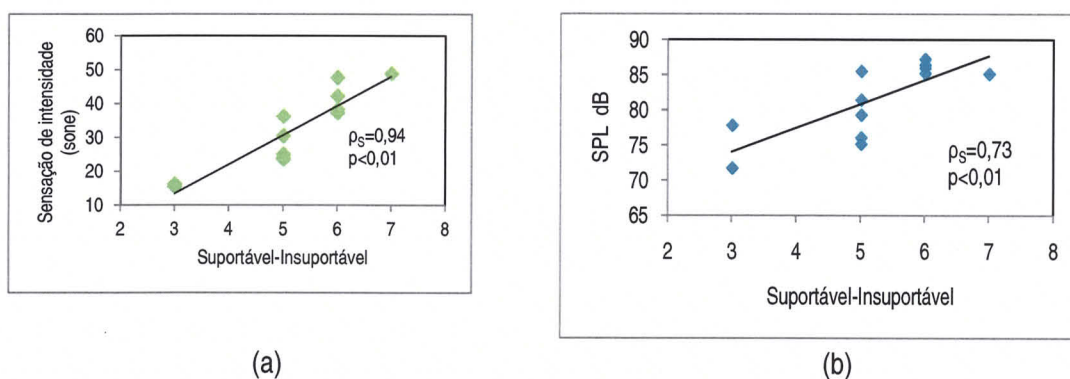


Figura 6.32 – Correlação entre (a) a *sensação de intensidade auditiva*, (b) o nível sonoro e a classificação do par Suportável-Insuportável

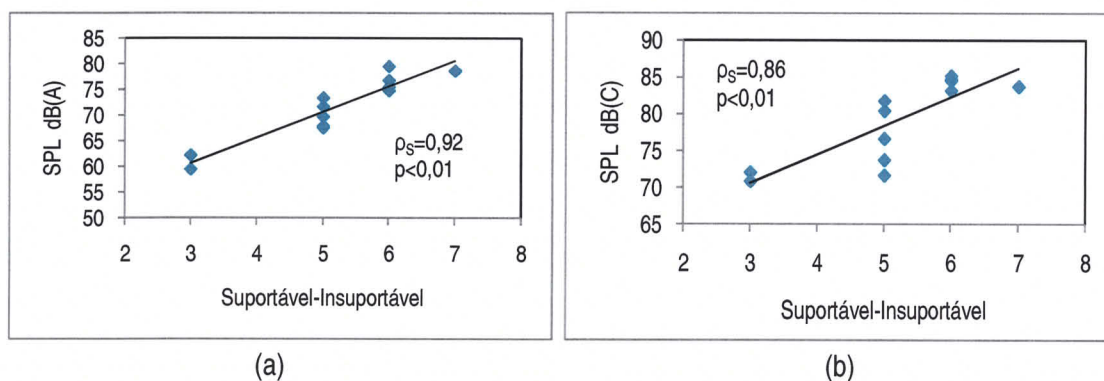


Figura 6.33 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C, e a classificação do par Suportável-Insuportável

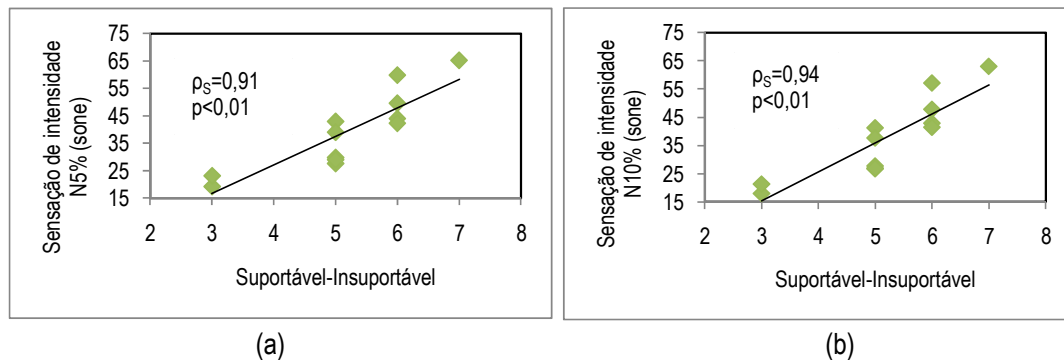


Figura 6.34 – Correlação entre (a) os níveis percentil de 5% e (b) 10%, para a *sensação de intensidade auditiva*, e a classificação do par Suportável-Insuportável

Da análise das Figuras 6.32 a 6.35, verifica-se a existência de associações positivas, fortes e significativas entre a classificação do par de adjectivos Suportável-Insuportável e os parâmetros físicos e psicoacústicos baseados na medição do nível sonoro, linear, ponderado A e ponderado C, a *sensação de intensidade auditiva* e os percentis associados de 5%, 10% e 50%. É também possível verificar que a respectiva intensidade é superior para o parâmetro psicoacústico nível de *sensação de intensidade auditiva* e respectivo percentil de 10%. Tal como foi referido anteriormente, este par de adjectivos está integrado no factor Apreciação Qualitativa, e apresenta uma correlação com este factor muito elevada (0,8, como se pode verificar na Tabela 6.2).

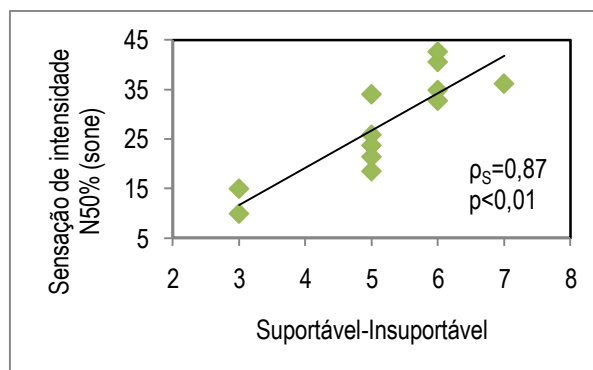


Figura 6.35 – Correlação entre o nível percentil de 50% para a *sensação de intensidade auditiva* e a classificação do par Suportável-Insuportável

Nos gráficos das Figuras 6.36 e 6.37, apresentam-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Ameno-Ruidoso e os parâmetros físicos e psicoacústicos nível sonoro contínuo equivalente ponderado A e percentil de 5% e 10% da *sensação de intensidade auditiva*.

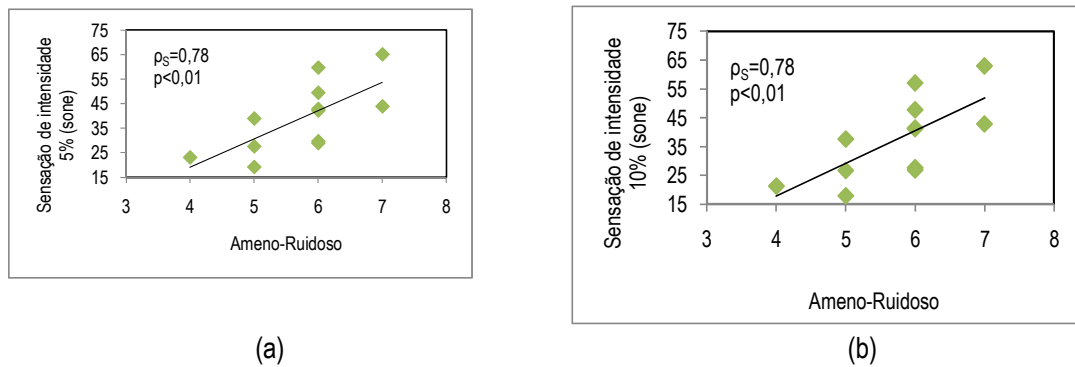


Figura 6.36 – Correlação entre os níveis percentil (a) de 5% e (b) 10%, para a *sensação de intensidade auditiva*, e a classificação do par Ameno-Ruidoso

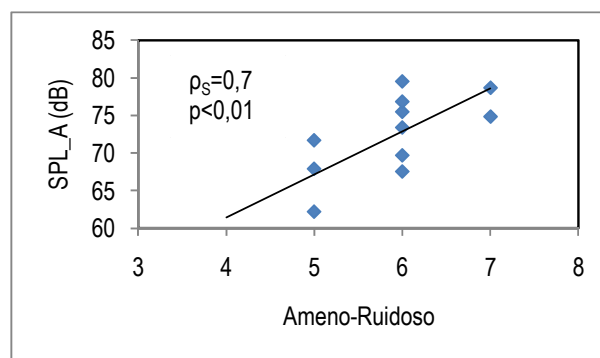


Figura 6.37 – Correlação entre o nível sonoro ponderado A e a classificação do par Ameno-Ruidoso

Da análise das Figuras 6.36 a 6.37, verifica-se a existência de associações positivas, fortes e significativas entre a classificação do par de adjetivos Ameno-Ruidoso e os parâmetros físicos e psicoacústicos baseados na medição do nível sonoro, ponderado A, e os percentis de 5% e 10% da *sensação de intensidade auditiva*. É também possível verificar que a respectiva intensidade é superior para os percentis de 5% e 10% da *sensação de intensidade auditiva*. Mais uma vez, este par de adjetivos está integrado no factor *Apreciação Qualitativa*, apresentando uma correlação com este factor muito elevada (0,78, como se pode verificar na Tabela 6.2).

Nos gráficos das Figuras 6.38 e 6.40, apresentam-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Fraco-Forte e os parâmetros físicos e psicoacústicos *sensação de intensidade auditiva*, *agudeza*, nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A e ponderado C, e os percentis de 5% e 10% e 50% da *sensação de intensidade auditiva*.

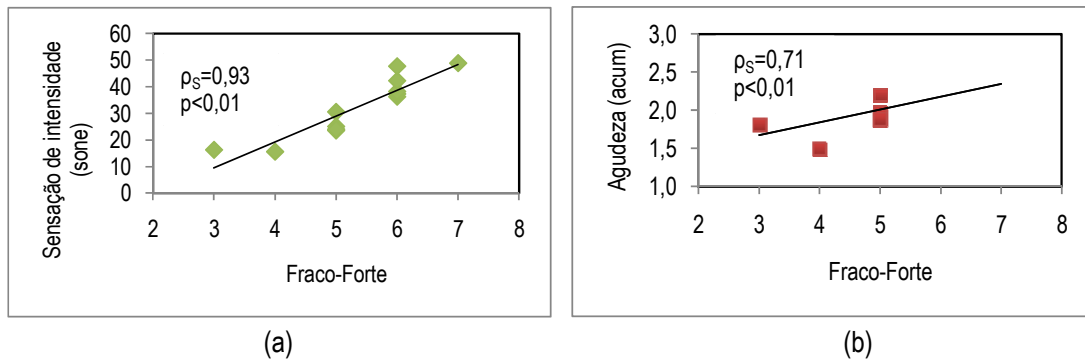


Figura 6.38 – Correlação entre (a) a *sensação de intensidade auditiva*, (b) a *agudeza*, e a classificação do par Fraco-Forte

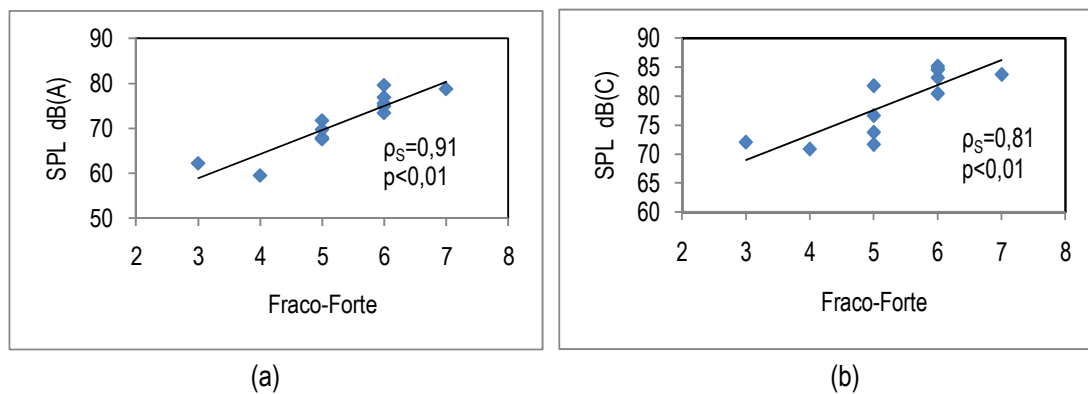


Figura 6.39 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A e (b) o nível sonoro ponderado C, e a classificação do par Fraco-Forte

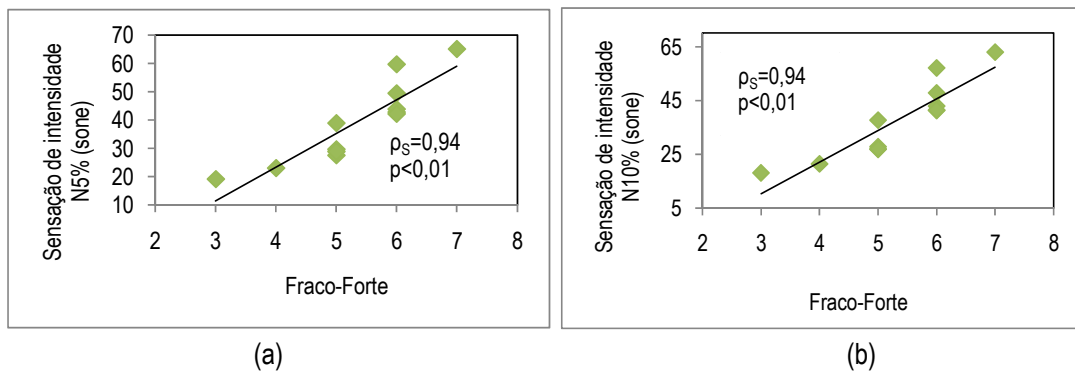


Figura 6.40 – Correlação entre (a) os níveis percentil de 5% e (b) 10%, para a *sensação de intensidade auditiva*, e a classificação do par Fraco-Forte

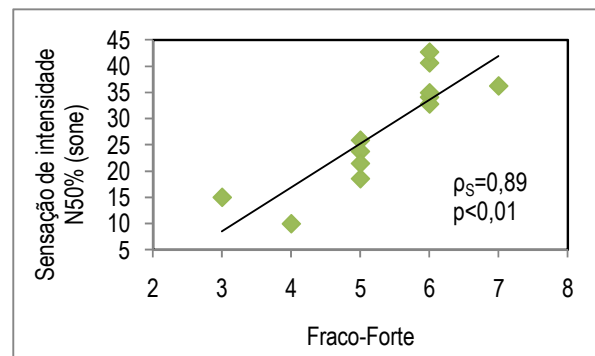


Figura 6.41 – Correlação entre os níveis percentil de 50% para a *sensação de intensidade auditiva* e a classificação do par Fraco-Forte

Da análise das Figuras 6.38 a 6.41, relativas ao par Fraco-Forte verifica-se a existência de associações positivas, fortes e significativas entre a classificação deste par e os parâmetros físicos e psicoacústicos baseados na medição do nível sonoro, ponderado A e ponderado C, na *sensação de intensidade auditiva*, e os percentis de 5%, 10% e 50% e o parâmetro psicoacústico *agudeza*. É também possível verificar que a respectiva intensidade é superior para os percentis de 5% e 10% da *sensação de intensidade auditiva*. Mais uma vez, este par de adjectivos está integrado no factor Apreciação Qualitativa, apresentando uma correlação com este factor muito elevada (0,8, como se pode verificar na Tabela 6.2).

Nos gráficos das Figuras 6.42 a 6.45, apresentam-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Baixo-Alto e os parâmetros físicos e psicoacústicos *sensação de intensidade auditiva*, *agudeza*, nível sonoro contínuo equivalente, linear, ponderado A e ponderado C, e o nível percentil de 5% e 10% e 50% da *sensação de intensidade auditiva*.

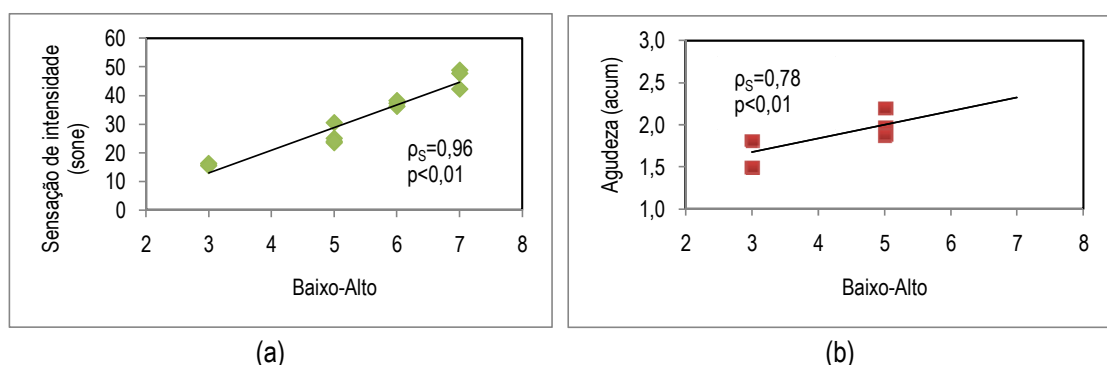


Figura 6.42 – Correlação entre (a) a *sensação de intensidade auditiva*, (b) a *agudeza*, e a classificação do par Baixo-Alto

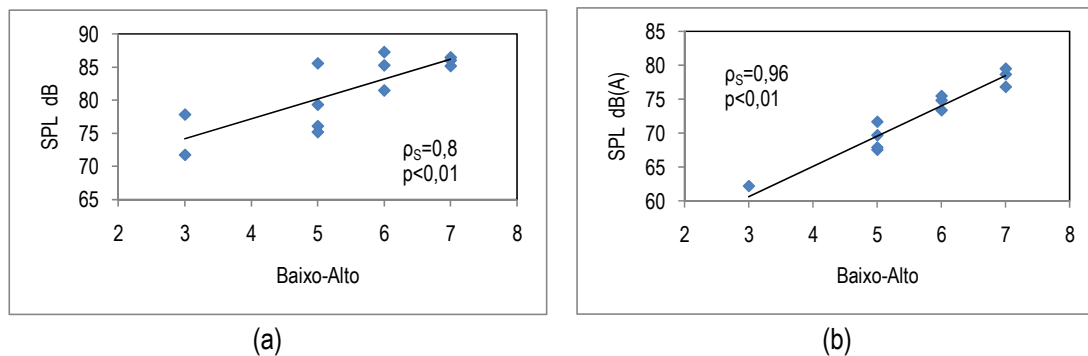


Figura 6.43 – Correlação entre (a) o nível sonoro, (b) o nível sonoro ponderado A, e a classificação do par Baixo-Alto

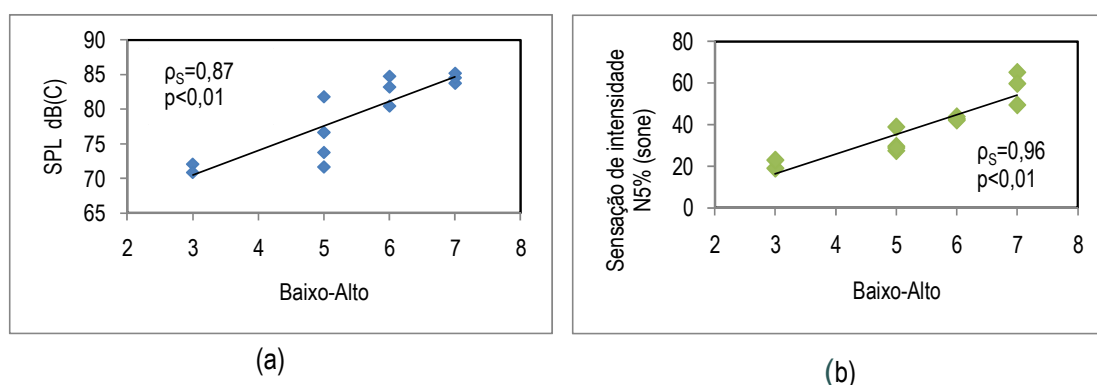


Figura 6.44 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado C, (b) o nível percentil de 5%, para a *sensação de intensidade auditiva* e a classificação do par Baixo-Alto

Tal como nos casos anteriores, pela análise das Figuras 6.42 a 6.45, verifica-se a existência de uma associação forte, positiva e significativa entre a classificação para este par e os seguintes parâmetros: nível sonoro, linear, ponderado A e ponderado C, *sensação de intensidade auditiva* e respectivos percentis de 5%, 10% e 50%, e o parâmetro psicoacústico *agudeza*. É também possível verificar que a intensidade mais elevada se verifica para o nível sonoro ponderado A, para a *sensação de intensidade auditiva* e os correspondentes níveis percentis de 5%, 10% e 50%, com um valor igual a 0,96. Refira-se que o par Baixo-Alto também está integrado no factor *Apreciação Qualitativa*, apresentando uma correlação com este factor muito elevada (0,79, como se pode verificar na Tabela 6.2).

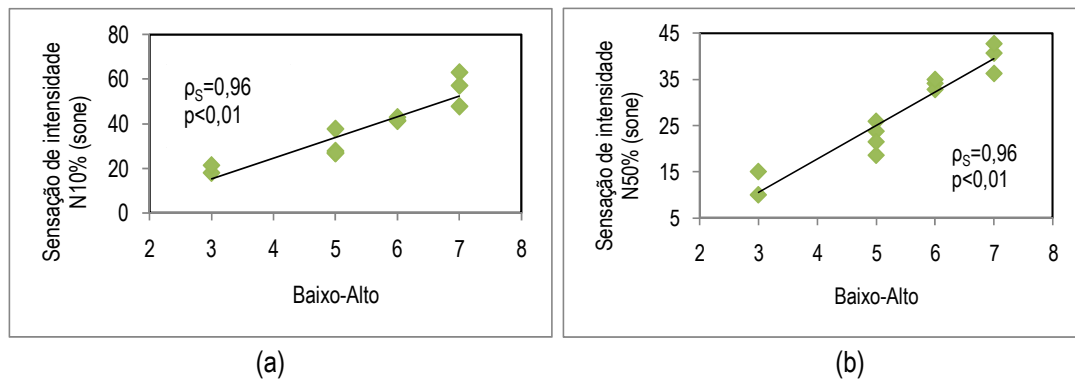


Figura 6.45 – Correlação entre (a) os níveis percentil de 10% e (b) 50% para a sensação de intensidade e a classificação do par Baixo-Alto

Nos gráficos das Figuras 6.46 a 6.49 apresentam-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Estridente-Abafado e os parâmetros físicos e psicoacústicos: *sensação de intensidade auditiva*, nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação linear, ponderado A e ponderado C, e o nível percentil de 5% e 10% e 50% da *sensação de intensidade auditiva*.

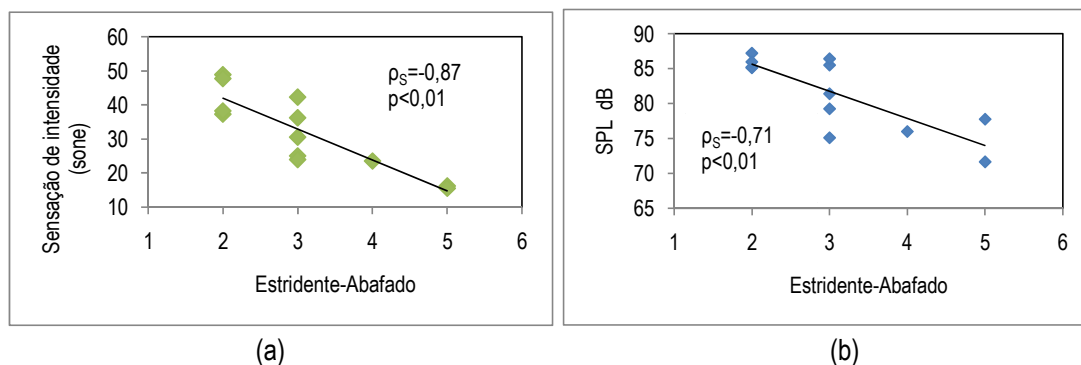


Figura 6.46 – Correlação entre (a) a *sensação de intensidade auditiva*, (b) o nível sonoro e a classificação do par Estridente-Abafado

Pela análise das Figuras 6.46 a 6.49, verifica-se a existência de uma associação forte, negativa, e significativa, entre a classificação para este par e os seguintes parâmetros: nível sonoro, linear, ponderado A e ponderado C, *sensação de intensidade auditiva* e os respectivos percentis de 5%, 10% e 50%, e o parâmetro psicoacústico *agudeza*. É também possível verificar que a correspondente intensidade é superior (em valor absoluto) para o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, e para a *sensação de intensidade auditiva*. Refira-se ainda que o par Estridente-Abafado integrado no factor Timbre, apresentando uma correlação moderada com este factor (0,58, como se pode verificar na Tabela 6.2).

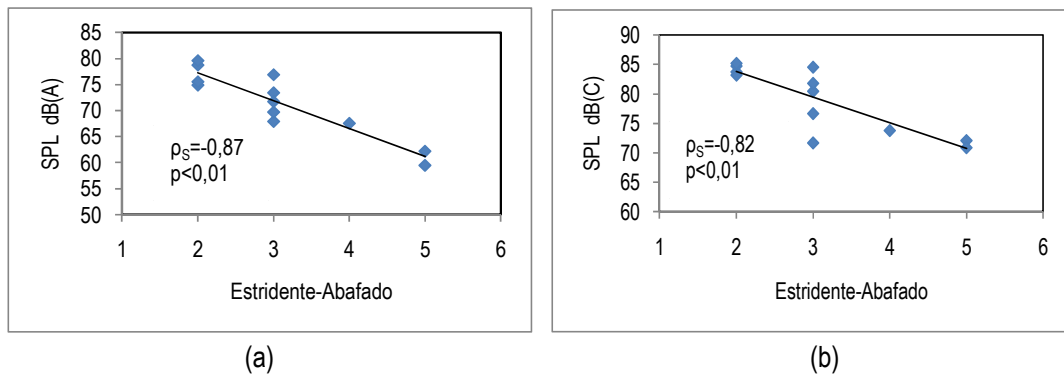


Figura 6.47 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C, e a classificação do par Estridente-Abafado

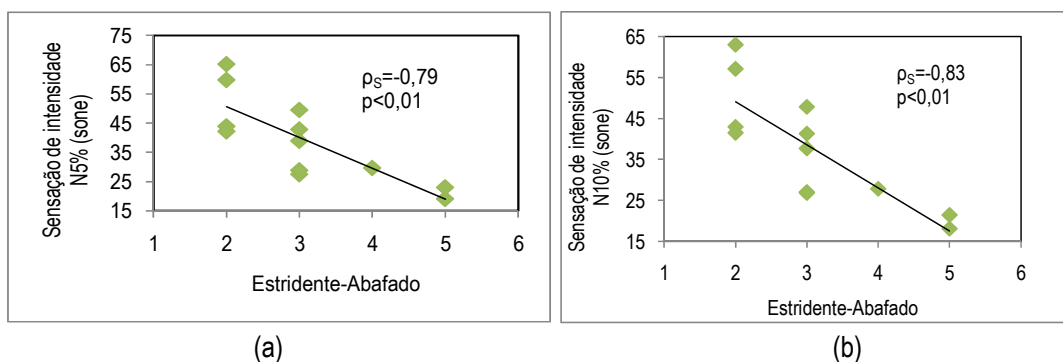


Figura 6.48 – Correlação entre os níveis percentil de 5% (Figura da esquerda) e 10% (Figura da direita), para a *sensação de intensidade auditiva*, e a classificação do par Estridente-Abafado

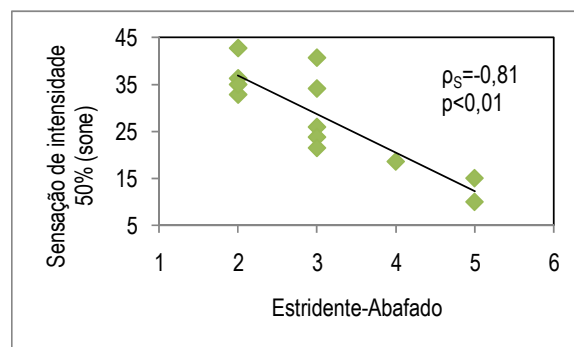


Figura 6.49 – Correlação entre o nível percentil de 50%, para a *sensação de intensidade auditiva*, e a classificação do par Estridente-Abafado

Nos gráficos das Figuras 6.50 e 6.53, apresenta-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Suave-Áspero e os parâmetros físicos, nível sonoro contínuo equivalente linear e os percentis de 5%, 10% e 50% da *sensação de intensidade auditiva*.

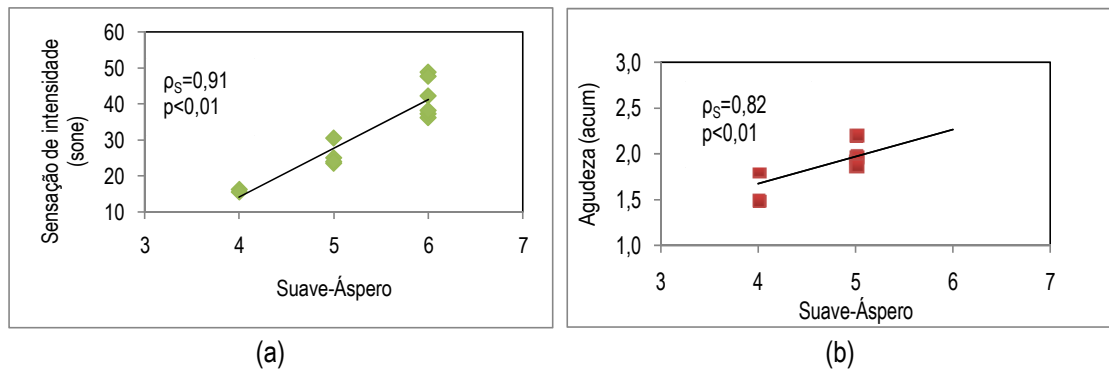


Figura 6.50– Correlação entre (a) a *sensação de intensidade auditiva*, (b) a *agudeza*, e a classificação do par Suave-Áspero

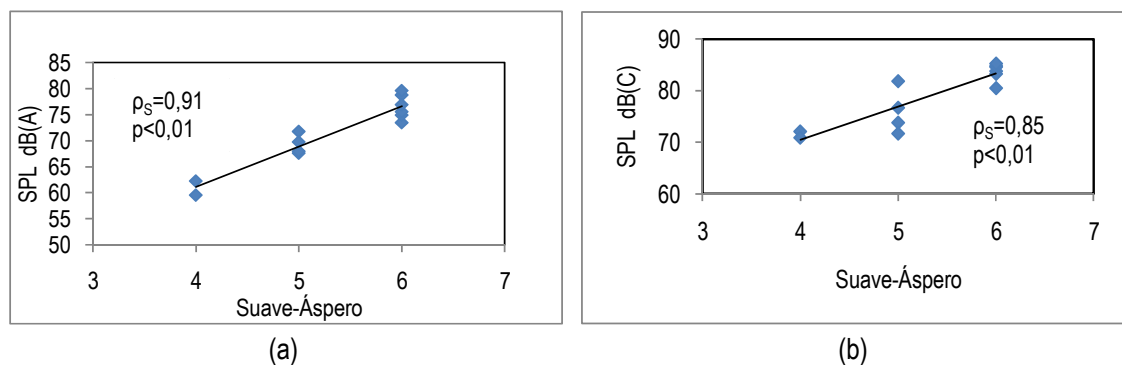


Figura 6.51 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C, e a classificação do par Suave-Áspero

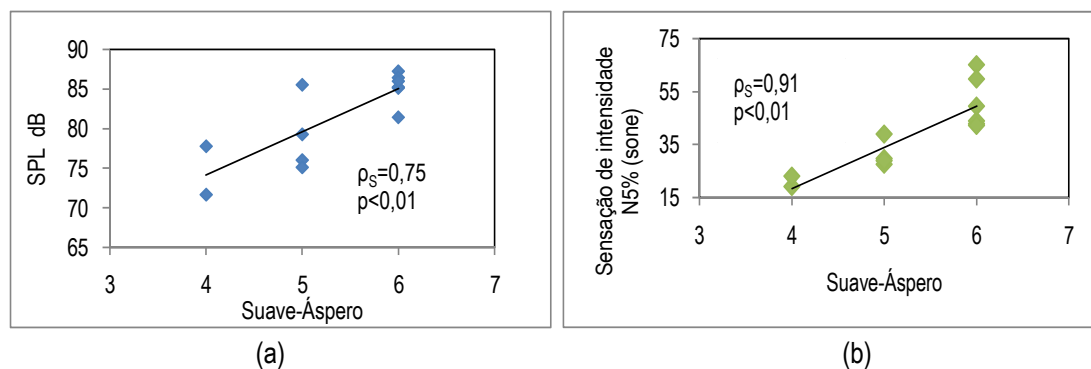


Figura 6.52 – Correlação entre(a) o nível sonoro, (b) o nível percentil de 5%, para a *sensação de intensidade auditiva*, e a classificação do par Suave- Áspero

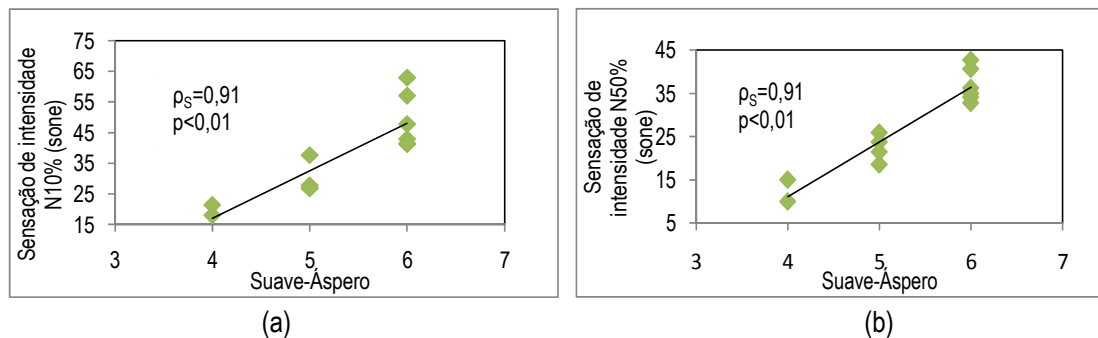


Figura 6.53– Correlação entre os níveis percentil de 10% (Figura da esquerda) e 50% (Figura da direita), para a *sensação de intensidade auditiva*, e a classificação do par Suave-Áspero

Pela análise das Figuras 6.50 a 6.53, verifica-se a existência de uma associação forte, positiva, entre a classificação para o par Suave-Áspero e os seguintes parâmetros: nível sonoro, linear, ponderado A e ponderado C, *sensação de intensidade auditiva* e respectivos percentis de 5%, 10% e 50%, e o parâmetro psicoacústico *agudeza*. É também possível verificar que a respectiva intensidade é superior (em valor absoluto) para o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, e para a *sensação de intensidade auditiva*, e correspondentes valores percentis de 5%, 10% e 50%.

Finalmente nos gráficos das Figuras 6.54 e 6.56 apresenta-se as rectas que caracterizam a associação entre o par Duro-Suave e os parâmetros físicos *sensação de intensidade auditiva*; nível sonoro contínuo equivalente, linear, ponderado A e ponderado C, e percentis de 10% e 50% da *sensação de intensidade auditiva*.

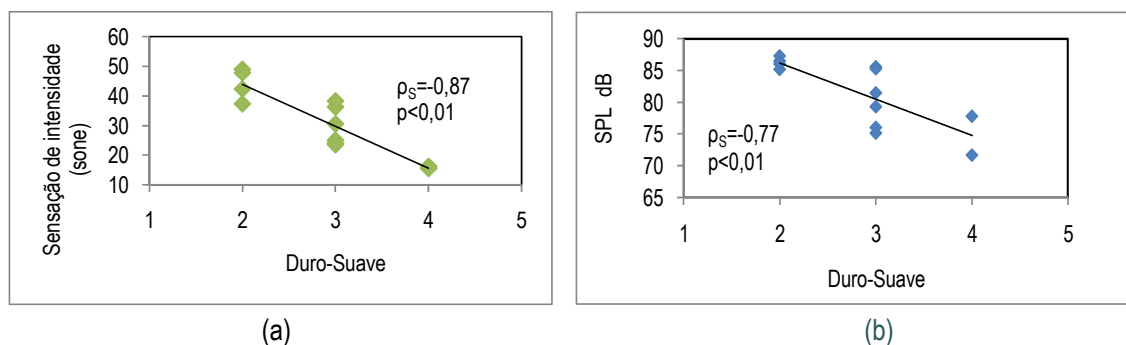


Figura 6.54– Correlação entre (a) a *sensação de intensidade auditiva*, (b) o nível sonoro, e a classificação do par Duro-Suave

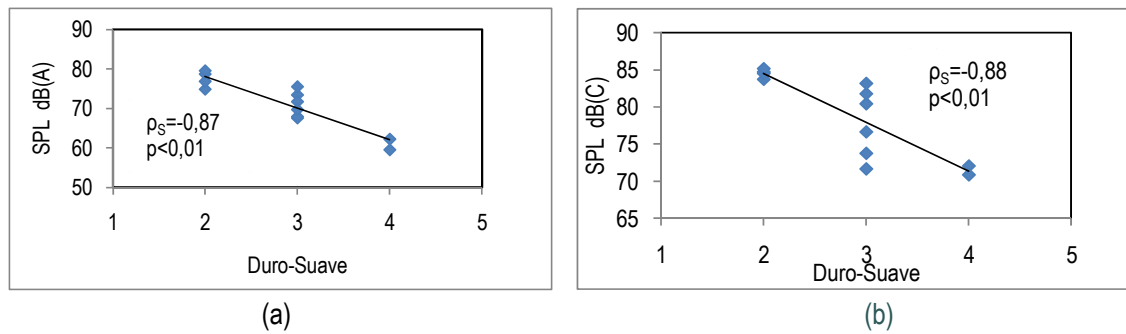


Figura 6.55 – Correlação entre (a) o nível sonoro ponderado A, (b) o nível sonoro ponderado C, e a classificação do par Duro-Suave

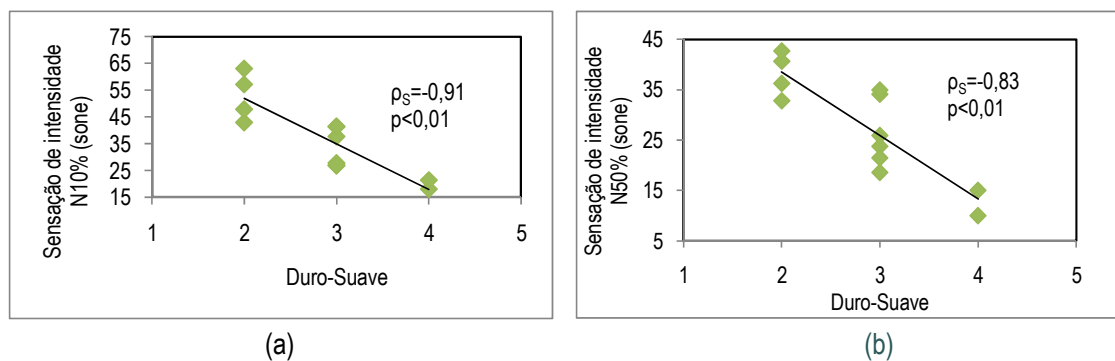


Figura 6.56 – Correlação entre (a) os níveis percentil de 10% e (b) 50%, para a *sensação de intensidade auditiva*, e a classificação do par Duro-Suave

Pela análise das Figuras 6.54 a 6.56, verifica-se a existência de uma associação forte, negativa, entre a classificação para o par Duro-Suave e os seguintes parâmetros: nível sonoro, linear, ponderado A e ponderado C, *sensação de intensidade auditiva* e respectivos percentis de 10% e 50%. É também possível verificar que a correspondente intensidade é superior (em valor absoluto) para o percentil de 10% da *sensação de intensidade auditiva*.

6.2.5 Discussão e considerações finais

No que respeita à avaliação individual efectuada para cada som, é de salientar os seguintes aspectos:

- Verificou-se que o som referente à passagem do avião é aquele que apresenta uma classificação mais próxima de um dos extremos do par de adjectivos utilizado. Para grande parte dos inquiridos, a percepção deste som é qualificada como desagradável, forte, e incomodativa. Na análise de componentes principais, verificou-se que todos estes adjectivos foram incluídos no factor apreciação qualitativa (análise para os 12 sons em

conjunto, v. Tabela 6.2). No entanto, a análise de componentes principais, efectuada separadamente para o tráfego aéreo, também agrega estes três adjectivos num mesmo factor (v. Tabela 6.6). Ambos os factores, nas duas análises efectuadas, incluem aspectos de apreciação qualitativa (representados pelos adjectivos desagradável e incomodativo) e de intensidade (forte), sugerindo a importância de uma apreciação de carácter mais qualitativo, que deve ser adicionada ao aspecto quantitativo de avaliação de um registo sonoro. Efectivamente, em todas as análises de componentes principais efectuadas, existe como factor preponderante a apreciação qualitativa, que mistura adjectivos de índole mais qualitativa com outro de carácter mais quantitativo, como Baixo-Alto ou Fraco-Forte. No extremo oposto, ao referido, tem-se o registo áudio correspondente à passagem de um motociclo com silenciador de escape, cuja avaliação, bastante uniforme, se centra entre os valores 3 e 4 (ver Figura 6.15 e 6.12). O segundo som avaliado de modo menos depreciativo foi a passagem do metro de superfície, no Porto (som gravado próximo do Bairro de Francos).

- Um dos sons também classificados de modo mais depreciativo, para o qual se verifica que alguns valores para a intensidade, de escala muito próximos de adjectivos como desagradável, alto, áspero e forte, é o correspondente à passagem do motociclo com ruído de escape significativo. Este facto permite salientar a importância de campanhas de sensibilização ao ruído e de fiscalização de veículos, tendo em conta o resultado anterior, relativo ao motociclo com silenciador de escape.

- Para os sons associados aos registos de ruído de tráfego rodoviário, com uma duração superior a 30 segundos, é interessante notar que são os registos associados a vias rodoviárias onde existem edifícios de ambos os lados, embora com tipos, volume e fluxos de tráfego distintos, que são os menos apreciados (v. Figura 6.14). Efectivamente na VCI existe uma circulação de veículos pesados a velocidades significativas. No entanto, na Rua do Ouro, em Lisboa, a circulação de autocarros também é uma realidade, à qual acresce uma estrutura de edificado mais compacta, relativamente a via. Os registos associados à circulação de tráfego rodoviário na 2ª circular em Lisboa (em que o tipo de circulação rodoviária se pode considerar análogo ao da VCI), e à Praça do Cais Sódre têm uma avaliação mais próxima do adjectivo menos depreciativo. Neste caso, o correspondente valor médio centra-se no valor cinco, em vez do valor seis.

- Da análise da estrutura de componentes principais, é interessante notar que o segundo factor que ressalta deste tipo de estudo é um factor relacionado com a estrutura temporal

do sinal. Este facto é evidente quando se faz uma análise do conjunto dos 12 sons, bem como quando se efectua a respectiva desagregação em sons correspondentes ao ruído de tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo. No caso do ruído de tráfego rodoviário, se se compara as duas análises efectuadas, verifica-se que os sons correspondentes às passagens individuais de veículos são na generalidade avaliados como mais irregulares, mais inconstantes e mais instáveis. Considerando também a existência de um factor adicional, que se designou no presente trabalho por variação, é possível sugerir a existência de um modo diferente de avaliação entre sons com uma estrutura mais contínua, do tipo ruído de fundo, e sons que emergem do ruído de fundo, tais como eventos acústicos isolados.

No que respeita à associação entre as avaliações efectuadas por todos os inquiridos para os sons que integraram o diferencial semântico e o respectivo conjunto de pares de adjectivos, verificou-se que é para o factor apreciação qualitativa que se evidenciou o maior número de associações significativas e de natureza forte, principalmente com os parâmetros *sensação de intensidade auditiva* e respectivos percentis, e nível sonoro continuo equivalente ponderado A e, nalguns casos, ponderado C. São integradas nesta situação as avaliações associadas aos seguintes pares: Aceitável-Inaceitável, Suportável-Insuportável, Ameno-Ruidoso, Fraco-Forte, Baixo-Alto, Suave-Aspero. Para o factor estrutura temporal, não foram obtidas nenhuma associações significativas entre os pares de adjectivos utilizados e as grandezas físicas e psicoacústicas consideradas neste trabalho. No entanto, para o factor potência, ao qual está associado o par Duro-Suave, verifica-se uma associação forte, neste caso negativa, pois quando mais “suave” for o som, menor será o valor de intensidade dos parâmetros físicos e psicoacústicos, designadamente, a *sensação de intensidade auditiva*, e o nível sonoro continuo equivalente, ponderado A e ponderado C. Em último lugar, refira-se a associação significativa e negativa, encontrada entre o par Estridente-Abafado, pertencente ao factor Timbre, na análise de componentes principais para o conjunto dos 12 sons e o percentil de 10% da *sensação de intensidade auditiva*.

6.3 Inquérito para a avaliação da percepção de medidas de minimização de ruído

6.3.1 Introdução

A presente secção do capítulo 6 respeita à apresentação dos resultados obtidos nos 21 inquéritos realizados para a avaliação da percepção de medidas de minimização de ruído. Este inquérito foi realizado durante o mês de Maio de 2010, tendo sido entrevistados indivíduos que habitam em edifícios localizados nos 6 casos de estudo seleccionados, ao longo da VCI. Mais especificamente, foram entrevistados no Local 1 (Condómino de São José) um indivíduo, no Local 2 (Bairro Social de Bessa Leite) 2 indivíduos, no Local 3 (Bairro do Foco) 5 indivíduos, no Local 4 (Condomínios de São João Bosco e das Andrezas) 8 indivíduos, no Local 5 (Bairro Cooperativa da Prelada) 3 indivíduos e no Local 6 (Bairro Central de Francos) 2 indivíduos.

A apresentação dos resultados obtidos neste processo de inquérito inicia-se com a caracterização sócio-demográfica dos inquiridos, do edificado e da exposição sonora a que estão sujeitos no interior das suas habitações. De seguida, apresentam-se os resultados relativos à percepção do ruído, tanto em termos de sensibilidade ao ruído como de incomodidade média, para os períodos diurno e nocturno. Posteriormente, são indicadas as principais atitudes que os inquiridos tiveram, com a finalidade de minimizar a incomodidade induzida pelo ruído de tráfego rodoviário no interior do seu espaço habitacional. Apresentam-se também os principais efeitos do ruído, enumerados pelos inquiridos.

Grande parte destas variáveis relaciona-se com o grau de incomodidade médio expresso pelos inquiridos, quer durante o período diurno, quer durante o período nocturno, o qual é traduzido pela resposta à questão normalizada sobre a incomodidade induzida pelo ruído publicada na norma portuguesa NP4476:2008 (equivalente à recomendação ISO/TS15666). Embora a incomodidade possa ser definida como uma atitude negativa relativamente à fonte que a provoca, o modo de a manifestar (ou as reacções por ela induzidas) não é idêntico para todos os indivíduos. De facto, para algumas pessoas, o termo incomodidade pode estar associado a um estado emocional relacionado com a irritação e o *stress*, para outros, pode significar um estado emocional de frustração,

enquanto para alguns indivíduos este termo não se encontra associado a qualquer estado emocional, mas sim a uma atitude negativa que é expressa somente no momento em que são questionados. Outros indivíduos podem ter criado um estado de habituação ao ruído, que, somente no momento em que são questionados sobre este assunto, recordam. Tendo em conta estes factores, a norma portuguesa NP 4476:2008 define a incomodidade induzida pelo ruído como a reacção adversa individual ao ruído, podendo-se exprimir essa reacção de várias maneiras, como, por exemplo, insatisfação, perturbação e incómodo [Maynard *et al.*, 2010]. Esta norma define o modo de “medir” a incomodidade induzida pelo ruído, apresentando para o efeito a questão-padrão a ser colocada aos inquiridos, bem como as duas escalas para a sua avaliação. Na escala de classificação verbal (designada neste trabalho como “escala de etiqueta”), a classificação do incómodo é traduzida pelos adjectivos absolutamente nada, ligeiramente, moderadamente, muito e extremamente. No caso da escala numérica, o incómodo (ou perturbação) é expresso numa escala de 11 pontos (zero a dez).

Finalmente, são expostos os resultados referentes à percepção dos registos áudio das medidas de minimização de ruído, designadamente, a apreciação visual das fotografias das barreiras sonoras (eficácia), e grau de agradabilidade (preferência), e a percepção da eficácia do conjunto fotografia e som correspondente. São igualmente apresentados os resultados obtidos na comparação entre sons referentes à passagem de um veículo num pavimento de betão betuminoso e do mesmo veículo num pavimento em betão betuminoso rugoso, microbetão, pavimento betuminoso drenante e pavimento com betume modificado de borracha (células fechadas), para velocidades de circulação de 80, 60 e 100 km/h. Na parte final deste capítulo, são apresentadas as associações entre os parâmetros físicos e psicoacústicos relativos aos registos áudio das medidas de minimização de ruído e a correspondente ordenação relativamente à percepção dos inquiridos.

6.3.2 Caracterização sócio-demográfica da amostra

Do total dos 21 participantes neste estudo, 57,1% eram homens e 42,9% eram mulheres, com idades compreendidas entre os 20 anos e mais de 80 anos, possuindo como níveis de escolaridade predominantes o ensino secundário e o ensino superior. Na Figura 6.57, é possível analisar o valor médio de incomodidade expresso pelos inquiridos, tendo em

conta a sua distribuição por género. Nesta figura, é apresentada a incomodidade média, diurna e nocturna, nas duas escalas que foram utilizadas neste trabalho e que resultam da normalização da questão sobre a incomodidade induzida pelo ruído, designadamente, na escala numérica, com uma variação de 11 pontos e na escala de etiqueta, com uma variação de 5 pontos.

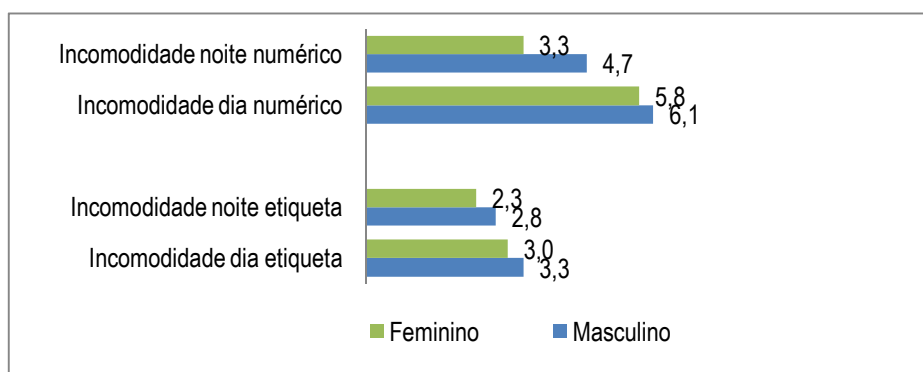


Figura 6.57- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o género dos inquiridos

Pela análise da Figura 6.57, verifica-se que, em média, os inquiridos sentem-se mais incomodados durante o período diurno do que durante a noite. É igualmente possível constatar-se que os indivíduos do sexo masculino se sentem mais incomodados em ambos os períodos, diurno e nocturno.

Relativamente à distribuição etária dos participantes neste inquérito, as idades dos inquiridos, distribuem-se entre os 20 anos e os 80 anos. A faixa etária predominante situa-se entre os 50 e 64 anos, com distribuição equitativa entre homens e mulheres (Figura 6.58).

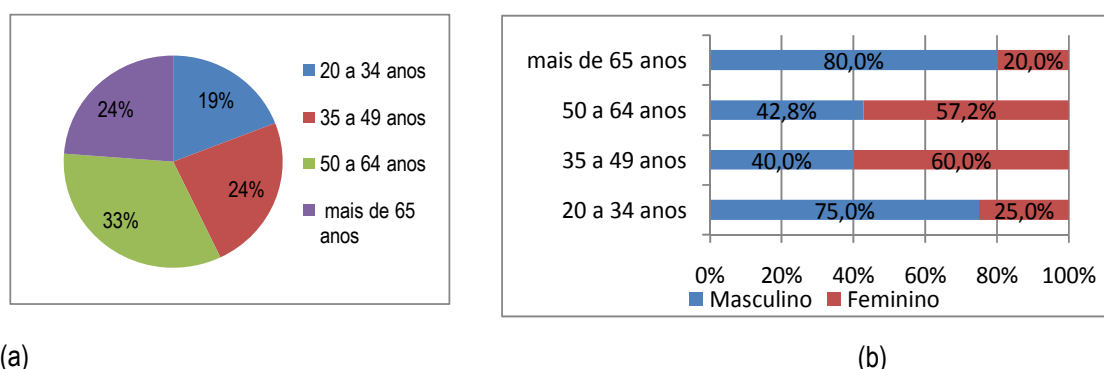


Figura 6.58 – (a) Distribuição etária e (b) respectivo cruzamento com o género dos inquiridos (valores em percentagem)

No que respeita ao cruzamento dos dados relativos à incomodidade média, diurna e nocturna, e a idade dos inquiridos, verifica-se que são os inquiridos com idades entre os 20 e 34 anos que se consideram mais incomodados com o ruído de tráfego rodoviário proveniente da VCI durante o período diurno, seguidos dos indivíduos pertencentes à faixa etária entre 50 e 64 anos, para o mesmo período.

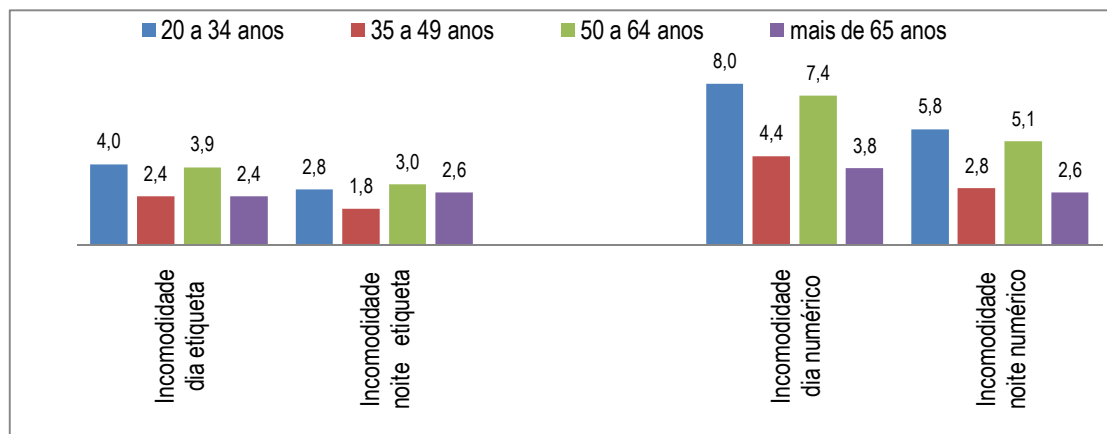


Figura 6.59- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a distribuição etária dos inquiridos

No que respeita ao grau de escolaridade dos inquiridos, ou seja (N=10), 47,6% frequentou o ensino superior. Verifica-se que 9,5% dos inquiridos (N=2) tem a instrução primária, enquanto que 4,8% (N=1) possui o 2º ciclo do ensino básico e que 38,1% (N=8) frequentou o ensino secundário. Para efectuar o cruzamento desta variável com os valores de incomodidade média, foi realizada uma recodificação do grau de escolaridade dos inquiridos, reagrupando os resultados anteriores em 2 classes, até ao ensino secundário, a que correspondem 48% dos inquiridos, e até ao ensino superior, a que corresponde a 52% dos inquiridos. Pela análise da Figura 6.60, é possível verificar que os indivíduos inquiridos que possuem habilitações até ao ensino secundário são os que, em média, se sentem mais incomodados, principalmente durante o período diurno.

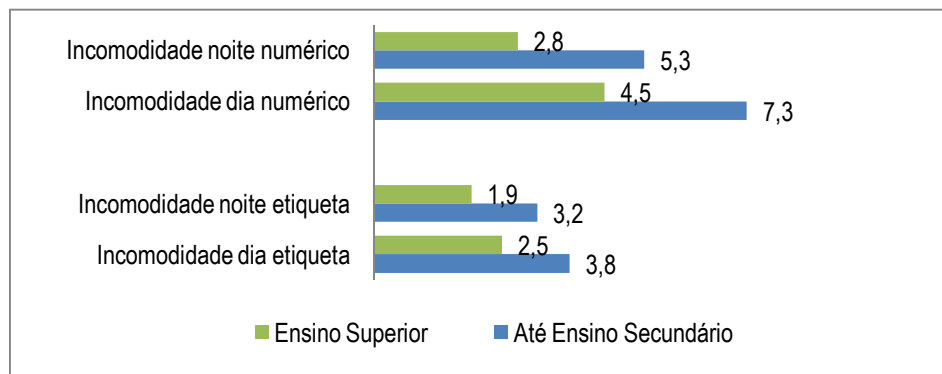


Figura 6.60- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a escolaridade dos inquiridos

No que respeita à dimensão do agregado familiar dos entrevistados, verificou-se que 61,9% (N=13) podem ser considerados como agregados de pequena dimensão (até 3 pessoas), enquanto os restantes, 38,1% (N= 8), coabitam com 4 a 6 pessoas na mesma residência. Relativamente ao cruzamento entre o grau de incomodidade média e a dimensão do agregado familiar, não se verifica grandes variações no nível de incomodidade induzida pelo ruído (Figura 6.61).

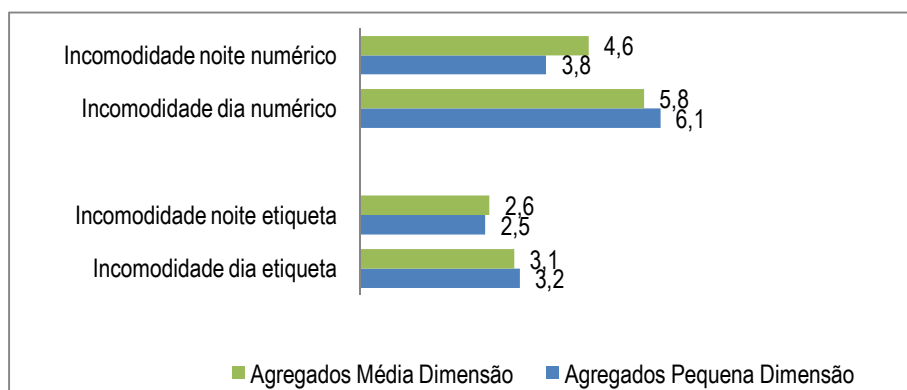


Figura 6.61- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a dimensão do agregado familiar

Os inquiridos foram questionados relativamente a eventuais problemas de saúde que possuísem, dando-se no inquérito ênfase aos problemas de saúde directa ou indirectamente relacionados com a exposição ao ruído de tráfego rodoviário. Nesta questão, cerca de 23,8% dos inquiridos expressaram que sofriam de insónias, enquanto que 28,6% referiram que sofriam de doença do sistema circulatório, 9,5% de doença cardíaca e, finalmente, 4,8% dos inquiridos indicaram terem problemas de audição, como se apresenta na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Problemas de saúde referenciados pelos inquiridos

Problemas de saúde dos entrevistados	N	%
Insónias	5	23,8
Doenças Cardíaca	2	9,5
Dificuldades Auditivas	1	4,8
Doença do Sistema Circulatório	6	28,6
Outras	3	14,3
Alergias		
Artrite reumatóide		
Diabetes		

No que respeita ao contexto sócio-habitacional, o perfil predominante corresponde aos edifícios inseridos em bairro tradicional (57,1%), como se pode ver na Figura 6.62. Incluíram-se nesta situação os inquiridos que residiam na zona do Foco, nos condomínios de São João Bosco e São José e no bairro da cooperativa da Prelada. Quanto aos restantes inquiridos, 24% habitavam edifícios integrados em condomínios fechados (Andrezas) e 19% habitavam em bairros sociais, designadamente nos bairros de Bessa Leite e de Francos.

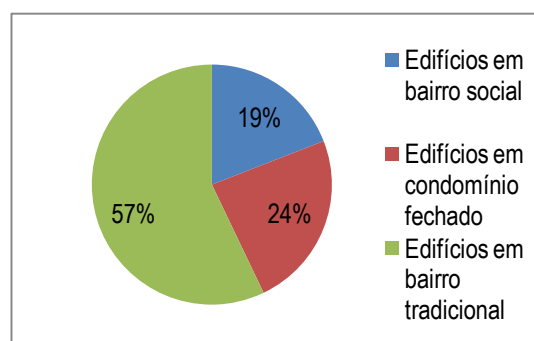


Figura 6.62 – Contexto sócio-habitacional dos inquiridos

Com base na Figura 6.63, é possível verificar que os indivíduos que se consideram mais incomodados são aqueles que habitam em edifícios integrados em bairro social, seguindo-se-lhes os indivíduos que habitam em edifícios em bairro tradicional e por último os inquiridos que habitam em condomínios fechados.

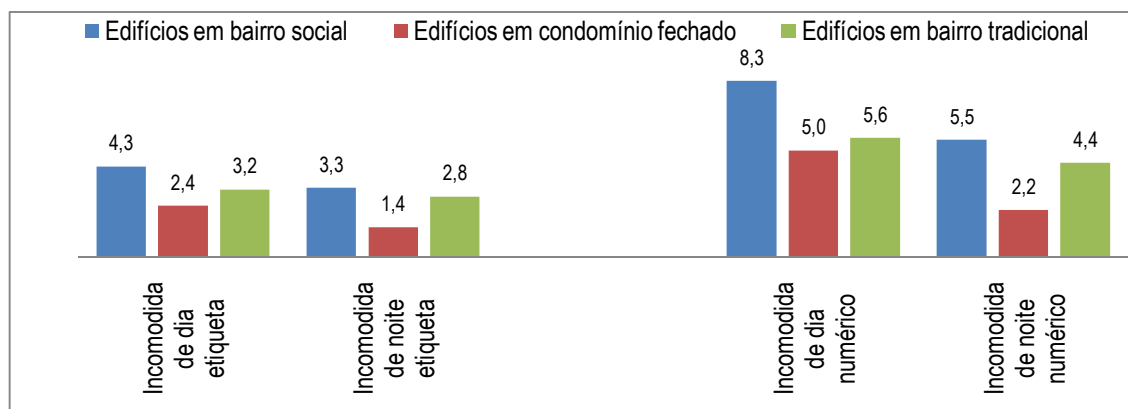


Figura 6.63- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o contexto sócio-habitacional dos inquiridos

No que respeita à caracterização profissional dos inquiridos, verificou-se que 52% dos entrevistados não possuíam qualquer ocupação, ou então estavam reformados, enquanto que os restantes possuíam uma ocupação fixa. Desagregando estes valores em função do contexto sócio-habitacional, verifica-se que a maior parte dos residentes nos bairros sociais não tem ocupação, sucedendo o oposto relativamente aos inquiridos que residem em condomínio fechado, como se pode verificar na Figura 6.64.

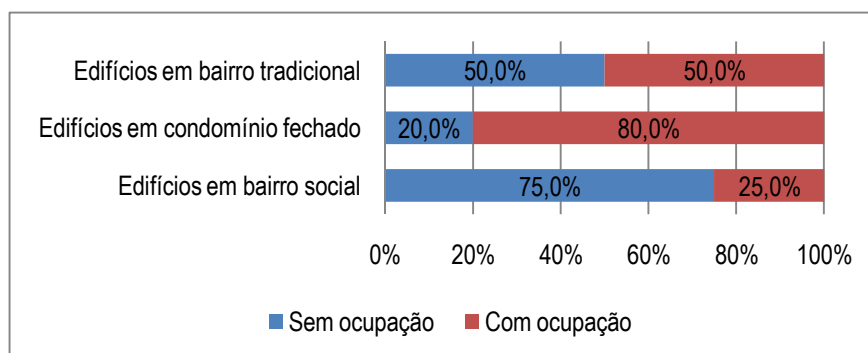


Figura 6.64 – Cruzamento entre o contexto sócio-habitacional e a ocupação (valores em percentagem) dos inquiridos

Relativamente ao número de horas de permanência dos indivíduos em casa, a questão foi subdividida entre o número de horas de permanência durante a semana e aos fins-de-semana. Na Figura 6.65, é possível verificar que, durante o período da manhã e da tarde, mais de metade dos inquiridos permanecem na sua residência (cerca de 11 inquiridos). Na generalidade, os inquiridos estão na sua residência durante o período nocturno (Figura 6.66).

Para efeitos de cruzamento entre o número de horas de permanência na residência e o valor médio da incomodidade induzida pelo ruído, foi efectuada uma recodificação da primeira variável, considerando-se que quem permanecia mais de 7 horas durante o dia seria integrado na categoria “estão em casa”, enquanto que os restantes seriam integrados na categoria “não estão em casa”.

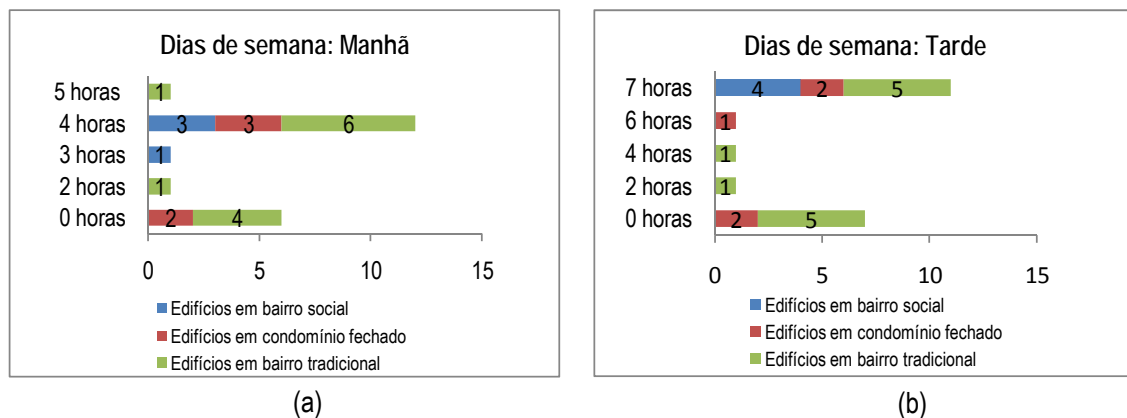


Figura 6.65 – Cruzamento entre o número de horas de permanência na residência e o contexto sócio-habitacional, durante os dias de semana, para o período da manhã (Figura da esquerda) e para o período da tarde (Figura da direita)

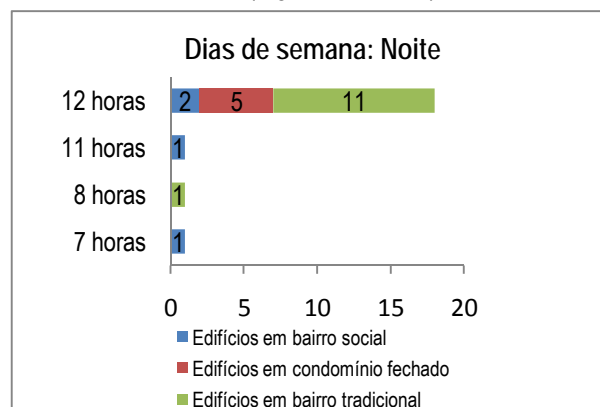


Figura 6.66 – Cruzamento entre o número de horas de permanência na residência e o contexto sócio-habitacional, durante os dias de semana, para o período nocturno

Pela análise do gráfico da Figura 6.67, verifica-se que os inquiridos consideram estar mais incomodados durante o período diurno, mesmo não ficando na sua residência durante todo o período diurno.

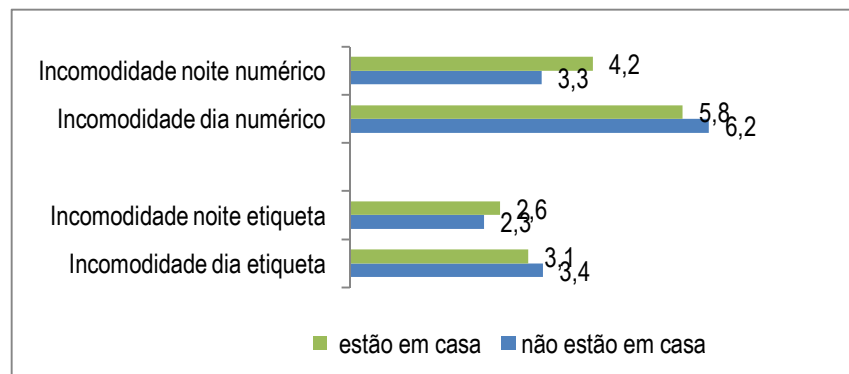


Figura 6.67 – Cruzamento entre o grau de incomodidade médio (numérico e etiqueta) e a permanência na residência (durante a semana)

Nos fins-de-semana, também verifica-se que a maior parte dos inquiridos (cerca de 16) passa o período da manhã na sua residência, diminuindo este número durante o período da tarde (Figura 6.68). Durante o período nocturno, é possível verificar que a maior parte dos inquiridos permanecem nas suas residências (Figura 6.68).

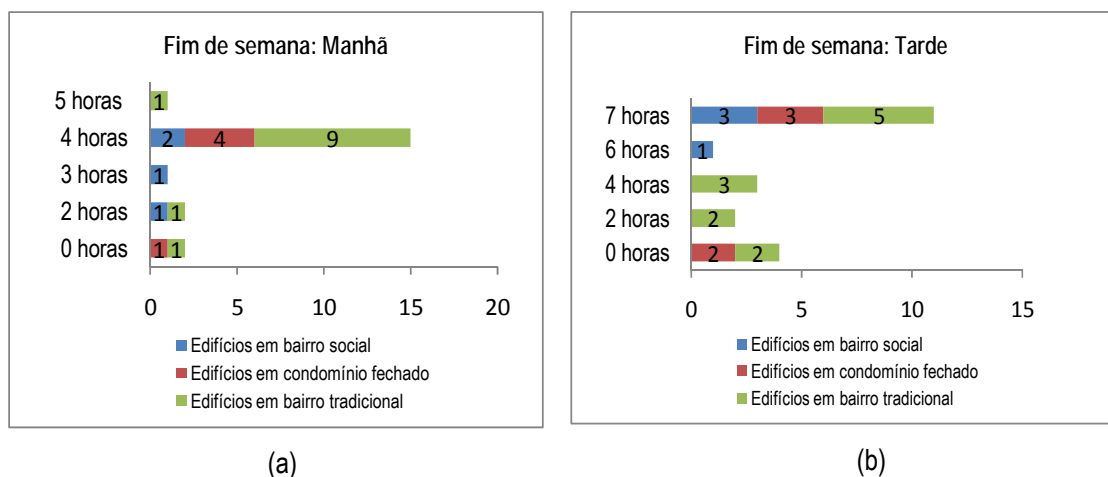


Figura 6.68 – Cruzamento entre o número de horas de permanência na residência e o contexto sócio-habitacional durante os fins de dias de semana, (a) para o período da manhã e (b) para o período da tarde

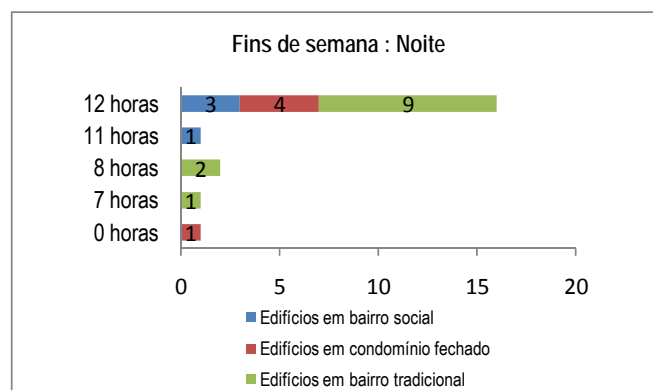


Figura 6.69 – Cruzamento entre o número de horas de permanência na residência e o contexto sócio-habitacional durante o fim-de-semana, para o período nocturno

Tal como no caso anterior, para efectuar o cruzamento entre o número de horas de permanência na residência e o valor médio da incomodidade induzida pelo ruído, foi realizada uma recodificação da primeira variável. Pela análise do gráfico da Figura 6.70, também se constata que os inquiridos consideram estar mais incomodados durante o período diurno, mesmo não permanecendo na sua residência durante todo este período.

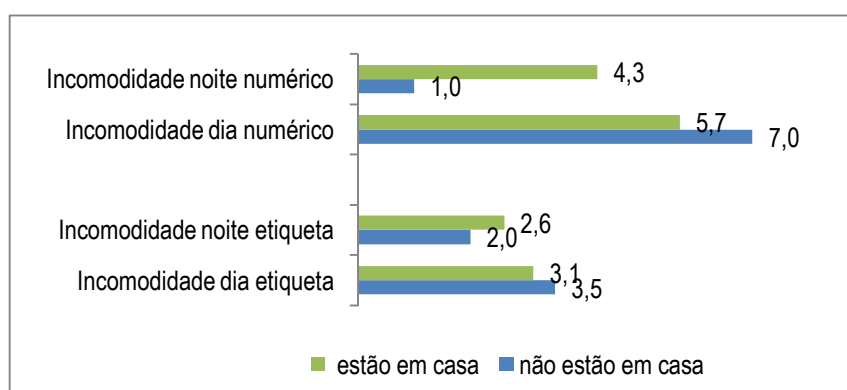


Figura 6.70 – Cruzamento entre o grau de incomodidade médio (escalas numéricas e de etiqueta) e a permanência na residência (durante o fim-de- semana)

6.3.3 Características do edificado e respectiva exposição sonora

Do total dos 21 participantes neste estudo, só 1 é que residia há menos de 1 ano na habitação em que foi entrevistado, enquanto que 8 participantes residiam no local da entrevista há pelo menos 3 anos e 9 participantes há pelo menos 11 anos. O valor médio do número de anos a residir na habitação actual é de 15 anos, pelo que se pode dizer que a generalidade dos inquiridos apresenta uma habituação ao ruído de tráfego rodoviário significativa. Analisando o cruzamento dos dados entre o número de anos de permanência na residência e a incomodidade média (Figura 6.72), verifica-se que são os inquiridos que habitam há mais tempo nas residências que se sentem mais incomodados com o ruído de tráfego rodoviário, principalmente durante o período diurno.

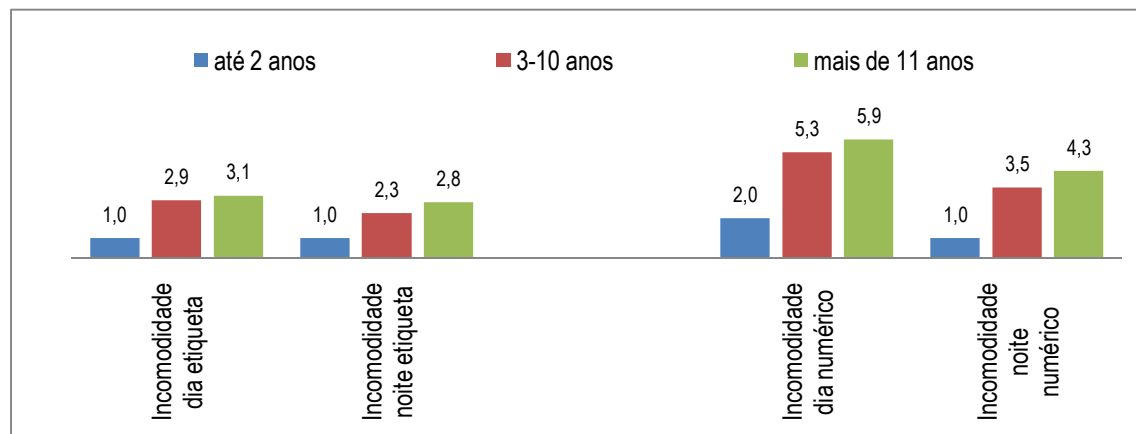


Figura 6.71- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o tempo de residência na habitação

Pelos valores apresentados na figura anterior, pode-se catalogar a incomodidade apresentada neste inquérito como de valor moderado. Foi também efectuada uma análise relativamente ao piso (altura) em que os inquiridos residiam, tendo-se constatado uma distribuição homogénea entre os pisos inferiores ou ao nível do terceiro piso, e intermédios (entre o quarto e nono piso), verificando-se um menor número de participantes a residir em pisos superiores ao nono (v. Tabela 6.7).

Tabela 6.8 – Distribuição dos inquiridos em função do piso da sua residência

Piso	N	%
Pisos Inferiores (<3)	8	38,1%
Pisos Intermédios (4-9)	8	38,1%
Pisos Elevados (10-19)	5	23,8%

No que respeita ao cruzamento da informação anterior com o valor médio da incomodidade, verifica-se, para o período diurno, que são os residentes dos pisos inferiores que se consideram mais incomodados (v. Figura 6.72). No período nocturno, a diferença entre pisos já não é tão acentuada.

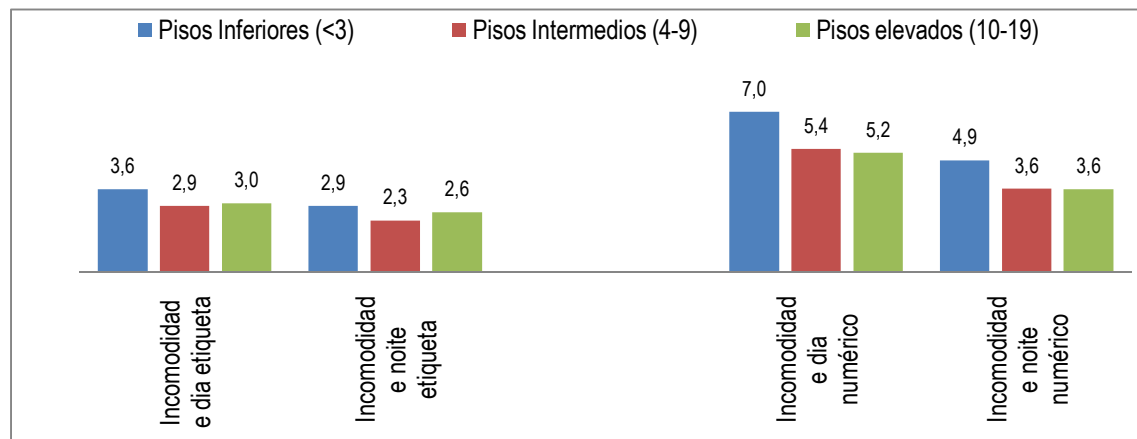


Figura 6.72- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a distribuição dos inquiridos em função do andar da sua residência

Relativamente à distância das habitações à VCI, constatou-se que doze dos inquiridos habitavam a uma distância inferior a 29 metros (57,2%), enquanto que nove habitavam a uma distância entre 30 e 84 metros (42,8%). Todos os entrevistados eram proprietários da fracção em que residiam (N=21). Cruzando os dados anteriores com o valor de incomodidade média expresso pelos inquiridos, verifica-se um maior valor de incomodidade média no período diurno, expressa pelos habitantes dos edifícios localizados a maior distância da VCI (entre 30 e 84 metros da via). No entanto, esta diferença não é tão significativa quando se analisa a escala de etiqueta, como se pode visualizar na Figura 6.73.

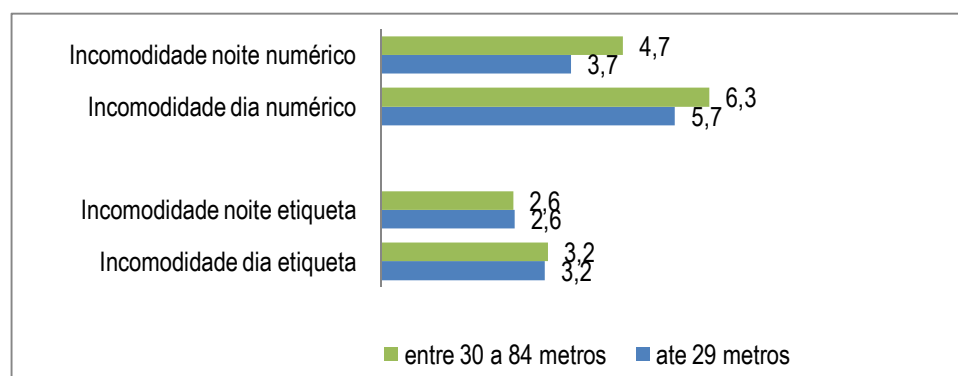


Figura 6.73- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a distribuição da distância da sua residência à VCI

Outro aspecto estudado foi a orientação das fachadas dos edifícios relativamente à VCI, tendo-se verificado que a maior parte dos inquiridos (57%) habitava edifícios cuja fachada estava orientada paralelamente à VCI, como se pode visualizar na Figura 6.74. Dos inquiridos que residem em prédios cuja fachada principal está orientada paralelamente à

VCI, a estrutura sócio-habitacional apresenta a seguinte distribuição: 33% dos inquiridos habitam em bairros sociais, 8% em edifícios tradicionais e 59% em edifícios em condomínio fechado. Os restantes inquiridos habitam edifícios com a fachada orientada perpendicularmente à VCI (24%) e 19 % dos inquiridos habitam edifícios com a fachada principal orientada de modo oblíquo relativamente à VCI.

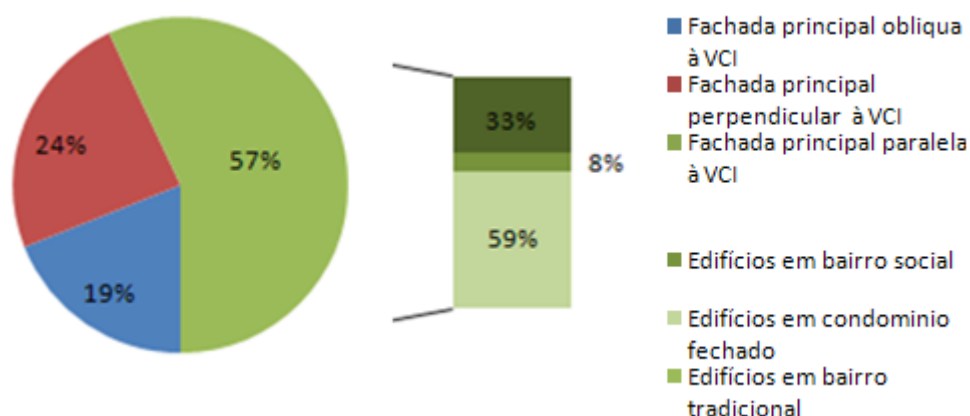


Figura 6.74 - Orientação das residências dos inquiridos relativamente à VCI, e distribuição sócio-demográfica referente aos edifícios com a fachada principal paralela à VCI

Pela análise da Figura 6.75, não se verifica uma grande diferença relativamente ao valor da incomodidade média, diurna e nocturna, tendo em conta a orientação da fachada do edifício relativamente à VCI, verificando-se uma ligeira diminuição deste valor quando a orientação do edifício é oblíqua relativamente à via.

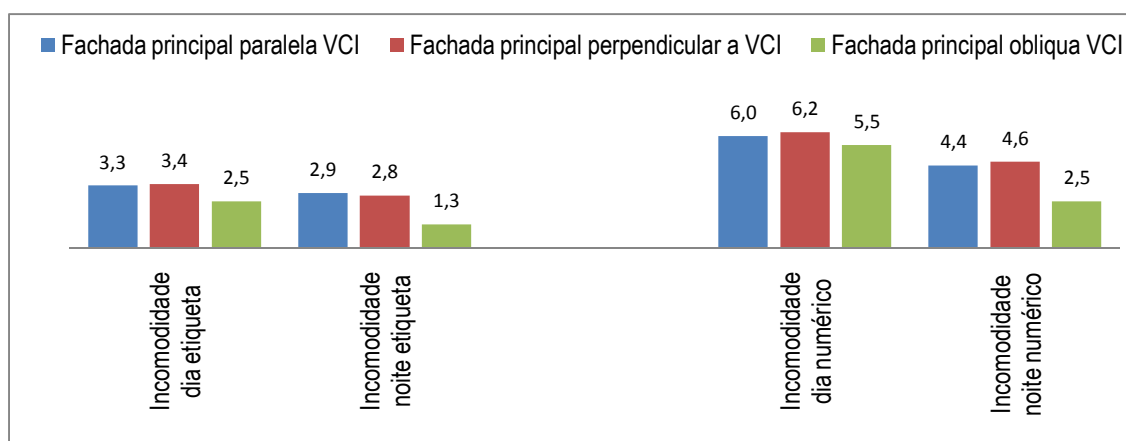


Figura 6.75- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a orientação das residências dos inquiridos relativamente à VCI

Dentro das habitações, foram registadas as disposições dos compartimentos sensíveis ao ruído, tendo-se verificado que aproximadamente 62% dos inquiridos possuíam

quartos-de-dormir e salas viradas directamente para a VCI, enquanto que os restantes possuíam estes compartimentos com uma orientação perpendicular à VCI. Na Figura 6.76, é possível constatar que os inquiridos que têm os quartos de dormir virados directamente para a VCI, apresentam valores de incomodidade média, quer em escala numérica quer em escala de etiqueta, superiores. De salientar o facto de esta análise ser válida tanto para o período diurno como para o período nocturno.

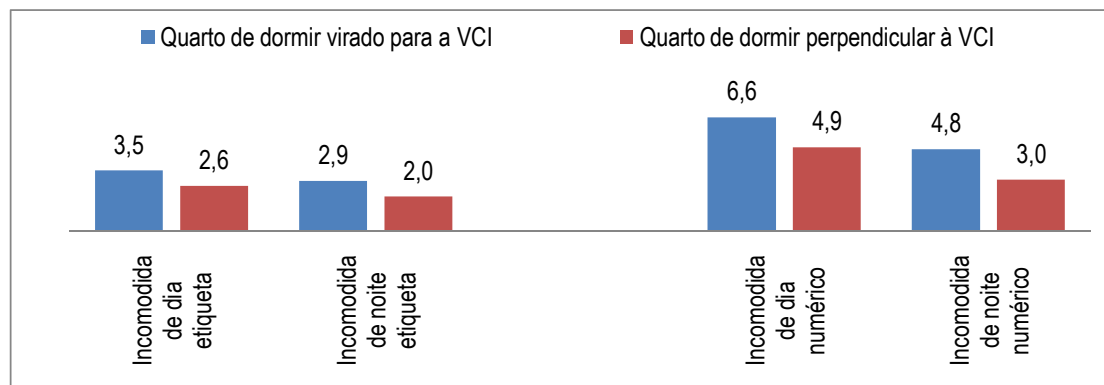


Figura 6.76- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a orientação dos quartos dos inquiridos relativamente à VCI

No que respeita ao tipo de constituição da fachada e dos envidraçados, verificou-se que, nos edifícios integrados em bairro social e de construção tradicional, são predominantes as fachadas com parede simples, existindo, contudo, alguns edifícios em bairro tradicional e em condomínio fechado com fachadas duplas. No que respeita ao tipo de envidraçado, verifica-se a predominância de vidros duplos (13 inquiridos). Na Figura 6.77 é possível ver a distribuição do tipo de estrutura da fachada e dos respectivos envidraçados, tendo em conta a estrutura sócio-habitacional utilizada neste trabalho.

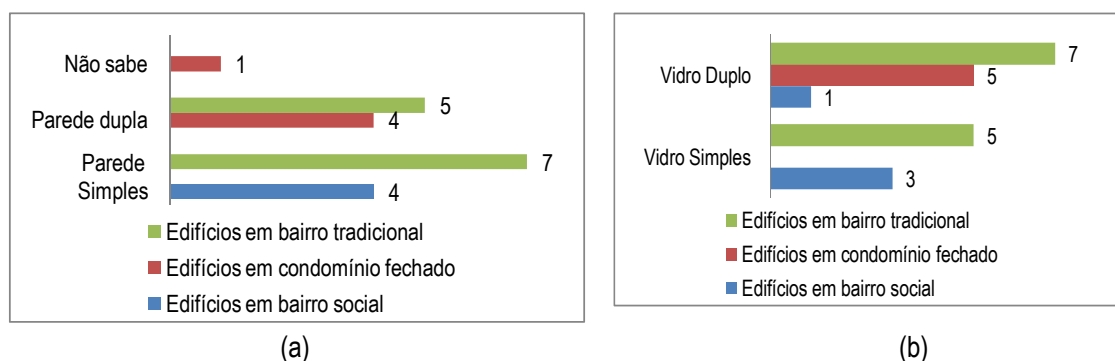


Figura 6.77- Tipo de fachada das residências dos inquiridos em função da estrutura sócio-habitacional

Pela análise dos valores apresentados na Figura 6.78 verifica-se que são os indivíduos que possuem janelas simples e/ou vidros simples que se referem um valor médio de

incomodidade mais elevado, tanto durante o período diurno como também durante o período nocturno.

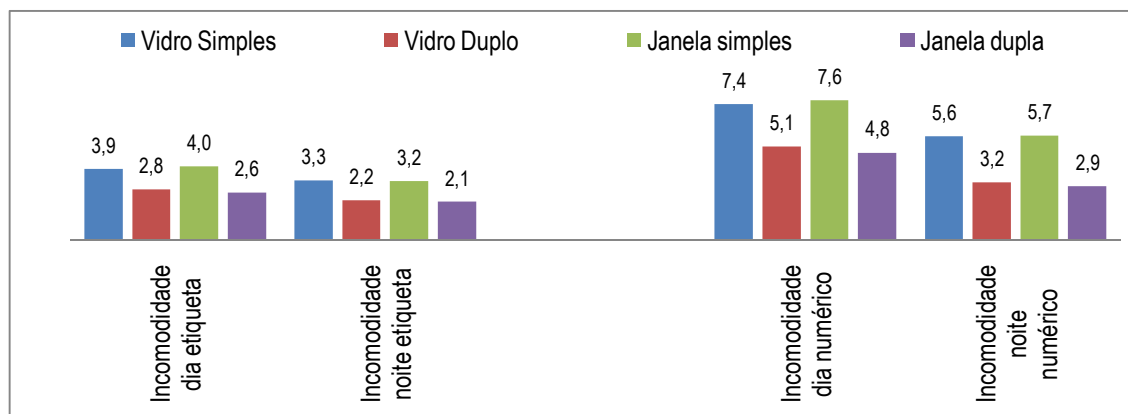


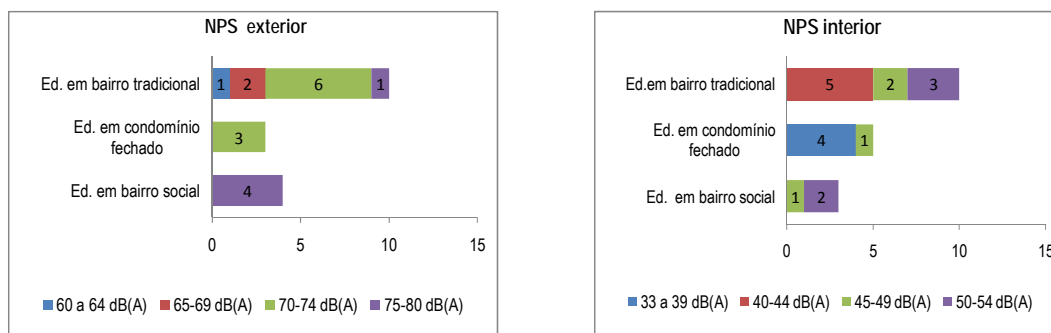
Figura 6.78- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o tipo de envidraçado e de janelas das residências dos inquiridos

A Tabela 6.8 apresenta os valores da exposição sonora, durante o período diurno, nas residências dos inquiridos (caracterização efectuada durante o mês de Maio, em termos de nível sonoro contínuo equivalente), visualizando-se os respectivos valores médios, valores máximos e mínimos (em dB(A)). Os valores apresentados na Tabela 6.8 permitem verificar a existência de níveis sonoros no exterior das habitações superiores a 55 dB(A), valor de referência a partir do qual as populações começam a sentir uma incomodidade acentuada, quer para o período diurno, quer para o nocturno [Berglund *et al.*, 2000]. Relativamente aos níveis sonoros no interior das habitações, verifica-se a existência de níveis sonoros superiores a 35 dB(A), valor indicado pela OMS como referência para a existência de perturbações na inteligibilidade da palavra, e de incomodidade moderada induzida pelo ruído, para os períodos diurno e nocturno. Refira-se que os valores do nível sonoro equivalente, propostos pela OMS, são referenciados a uma base temporal de 16 horas para o período diurno e de 8 horas para o período nocturno, enquanto as medições apresentadas na Tabela 6.8 se referem a uma duração de 10 minutos, para o período diurno.

Tabela 6.9 – Caracterização do ambiente sonoro no exterior e no interior das residências dos inquiridos e respectiva estimativa do isolamento sonoro

Nível sonoro	Valor Médio	Valor Máximo.	Valor Mínimo.
Nível sonoro no exterior [dB (A)]	72	78	62
Nível sonoro no interior [dB (A)]	45	55	33
Isolamento sonoro bruto [dB(A)]	27	41	18

A Figura 6.79 apresenta a desagregação dos valores dos níveis sonoros, no interior e no exterior, segundo a estrutura sócio-habitacional dos inquiridos. A partir da análise dos gráficos constantes nesta Figura, verifica-se que os valores mais elevados dos níveis sonoros se encontram nos edifícios integrados nos bairros sociais, quer no interior e no exterior das habitações. Os edifícios integrados em condomínio fechado apresentam no níveis sonoros elevados seu exterior, apesar de tal não suceder no interior das habitações. No que respeita aos edifícios em bairro tradicional, verifica-se que o espectro de níveis sonoros é bastante alargado, quer no interior quer no exterior das habitações.



(a)

(b)

Figura 6.79- (a) Ambiente sonoro exterior e (b) ambiente sonoro no interior da residência dos inquiridos, em função da estrutura sócio-demográfica (nº de habitações em cada classe de nível sonoro)

No que respeita ao cruzamento dos valores associados aos níveis sonoros com o grau de incomodidade média expresso pelos inquiridos, verifica-se que aos níveis sonoros mais elevados no exterior, como se pode visualizar na Figura 6.80, correspondem em média valores de incomodidade também mais elevados, excepto na gama compreendida entre 70 e 74 dB(A). Uma possível explicação para este facto está relacionada com a integração dos edifícios em condomínio fechado nesta gama de valores para o ambiente no exterior e que, dadas as condições de isolamento sonoro destes edifícios, favorece um maior conforto no seu interior.

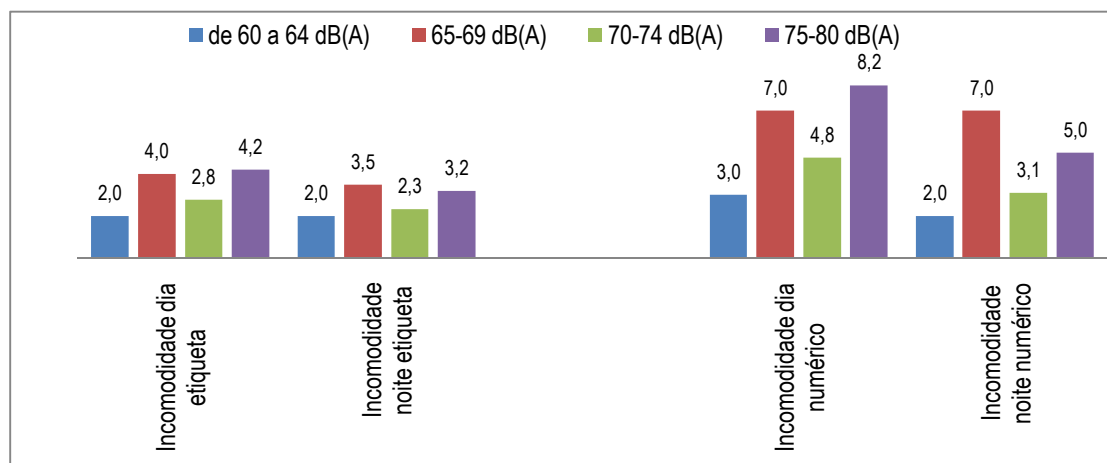


Figura 6.80- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o nível sonoro no exterior das residências dos inquiridos

Relativamente aos níveis sonoros no interior das habitações, verifica-se a partir da análise da Figura 6.81 que quanto menor é o seu valor menor é a incomodidade média expressa pelos inquiridos.

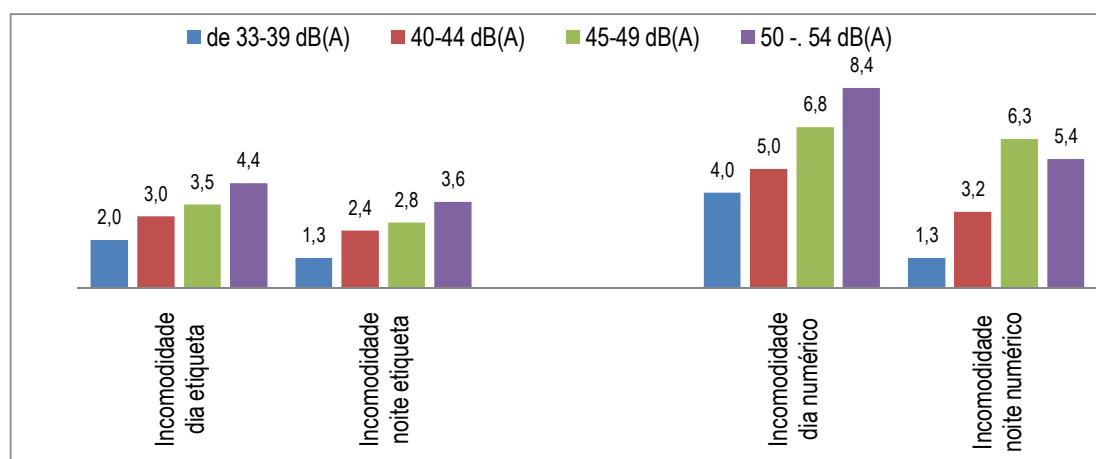


Figura 6.81- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo o nível sonoro no interior das residências dos inquiridos

Para a caracterização de isolamento sonoro da fachada de cada habitação, efectuada neste trabalho a partir do valor do isolamento sonoro bruto, em dB(A), verifica-se que o maior valor de incomodidade média corresponde a valores de isolamento sonoro inferiores a 20 dB(A), como se pode visualizar na Figura 6.82.

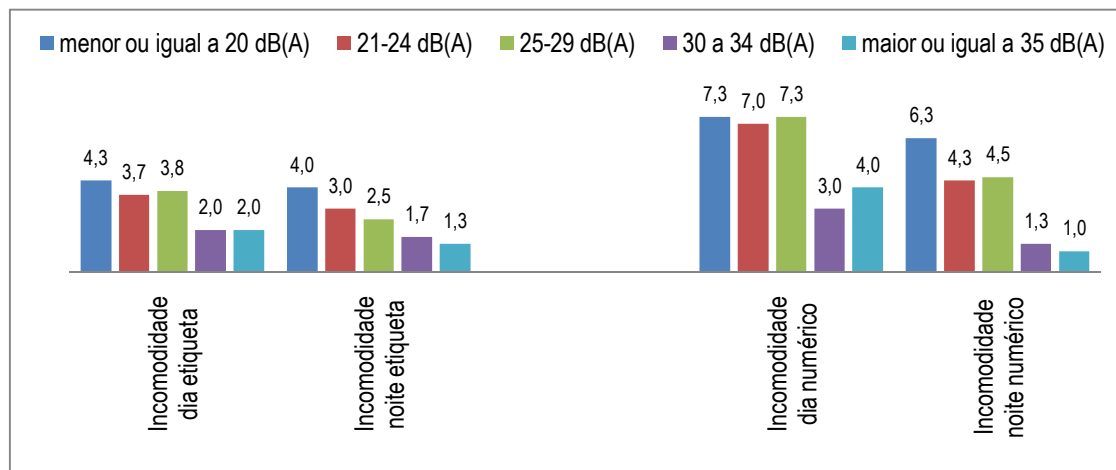


Figura 6.82- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) segundo a estimativa do isolamento sonoro das residências dos inquiridos

Um outro aspecto importante na análise da percepção de ruído de tráfego é a avaliação de aspectos ligados à poluição que este habitualmente implica. As respostas dos entrevistados a esta temática indicam que a maioria dos entrevistados refere a sujidade na casa como um problema directamente relacionado com o tráfego (81,1%), seguido do ruído (57,1%) e de fendas na estrutura da casa/edifício (19%). No entanto apesar da avaliação negativa destes aspectos, apenas 8 pessoas (38,1%) afirmam desejar mudar de residências devido à exposição prolongada ao ruído tráfego rodoviário, principalmente aquelas que residem em edifícios em bairro tradicional, como se pode constatar na Figura 6.83.

Tabela 6.10 – Avaliação de aspectos ligados à poluição derivada ao tráfego rodoviário da VCI

Avaliação de aspectos ligados à poluição derivada tráfego rodoviário da VCI	N	%
Sujidade	17	81,1
Ruído	12	57,1
Fendas na estrutura da casa	4	19,0
Outros	5	24,0
-Assentamento de paredes		
-Cheiros		
-Poluição		
-Fendas na casa, aquando da construção da VCI		
-Humidade		

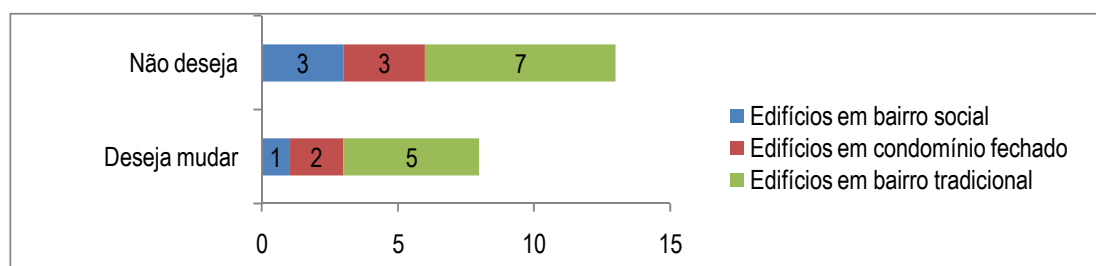


Figura 6.83 – Cruzamento entre a intenção de mudar de residência e a estrutura sócio-demográfica

Dos inquiridos que referiram que desejavam mudar de residência (6 no total), 2 referiram como causa a exposição ao ruído de tráfego rodoviário. No entanto, foram também comunicados outros factores, como, por exemplo, a baixa qualidade de vida devido à proximidade da VCI, patologias de construção existentes no edifício e a poluição atmosférica decorrente do tráfego rodoviário (v. Tabela 6.10).

Tabela 6.11– Razões apontadas pelos inquiridos para mudar de residência

Razões para mudar de residência	N	%
Ruído	2	9,6
Baixa qualidade de vida devido à proximidade da VCI	1	4,8
Patologias que o edifício apresenta (Térmicas, acústicas e qualidade do ar)	1	4,8
Poluição atmosférica	1	4,8
Questões pessoais	1	4,8

A Figura 6.84 apresenta uma análise da existência de problemas associados ao ruído, tendo em conta o contexto sócio-habitacional dos edifícios em que residem os inquiridos. É assim possível constatar a existência de problemas associados ao ruído, independentemente do contexto sócio-habitacional.

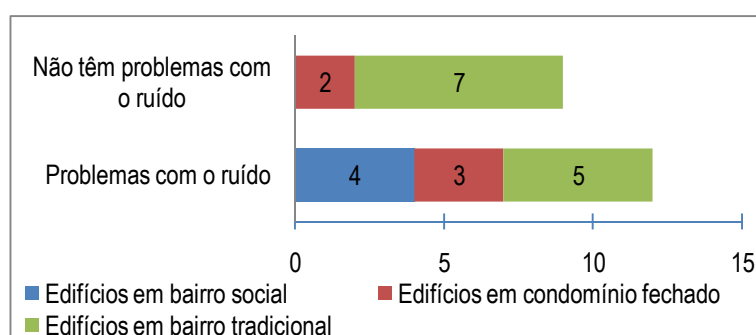


Figura 6.84 – Cruzamento entre a estrutura sócio-habitacional demográfica e a existência de problemas associados ao ruído do tráfego rodoviário da VCI

Relativamente aos níveis sonoros existentes no interior das habitações, verificou-se que os inquiridos reportam a existência de problemas com o ruído em toda a gama de valores medidos. No entanto, existe um ligeiro aumento do número de inquiridos que reportam problemas com o ruído à medida que os valores dos níveis sonoros aumentam, como se mostra na Figura 6.85.

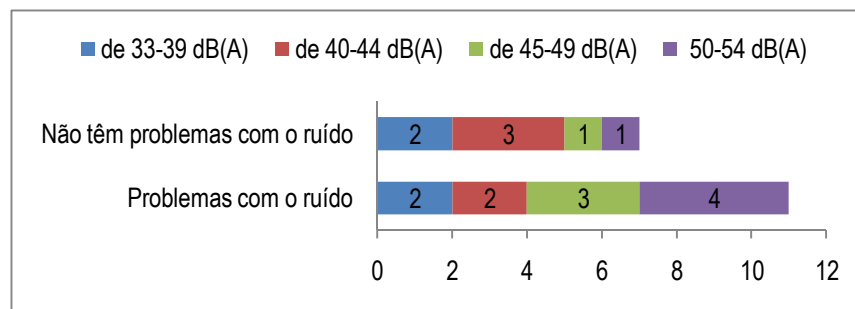


Figura 6.85 – Cruzamento entre o nível sonoro no interior das residências dos inquiridos e a existência de problemas associados ao ruído de tráfego rodoviário da VCI

A Figura 6.86 permite constatar que os inquiridos que apontam a existência de problemas com o ruído na sua residência são aqueles que também reportam um valor de incomodidade média mais acentuado para ambos os períodos (diurno e nocturno).

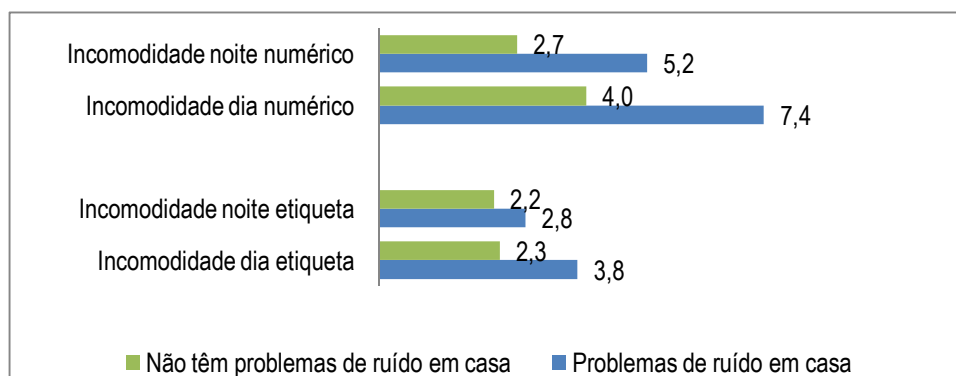


Figura 6.86- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) em função da existência de problemas associados ao ruído do tráfego rodoviário da VCI

Ainda no que respeita à existência de problemas com o ruído apontados pelos inquiridos, estes dados foram cruzados com a informação relativa sobre a agradabilidade relativa à sua residência, tendo-se verificado que a existência de problemas com o ruído, não implica um desagrado significativo para com a residência. Este facto pode ser constatado a partir da análise do gráfico apresentado na Figura 6.87.

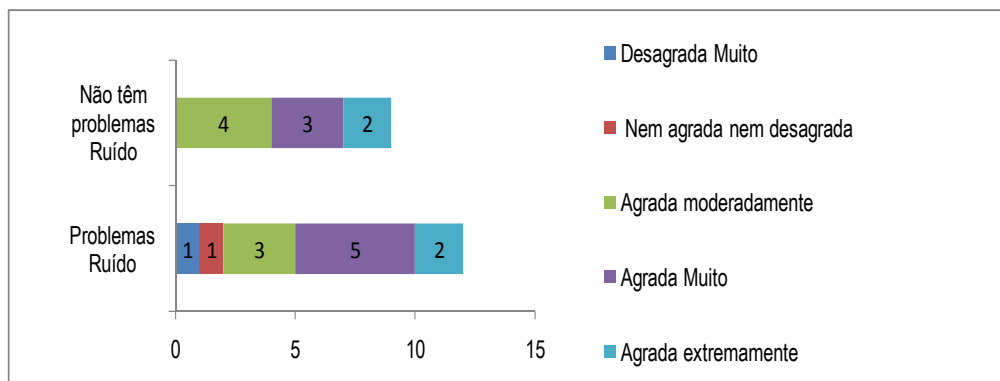


Figura 6.87 – Cruzamento entre a agradabilidade para com a residência e a existência de problemas associados ao ruído do tráfego rodoviário da VCI (número de casos em função da agradabilidade para com a residência)

6.3.4 Percepção do ruído

No que respeita à sensibilidade ao ruído, este parâmetro foi avaliado por meio de um subconjunto de 15 questões que integram o questionário de *Weinstein*. Do total das 21 questões que integram este questionário, optou-se neste trabalho por seleccionar as questões directamente relacionadas com o ambiente sonoro no exterior, com o ambiente sonoro no interior das residências e com o ruído de tráfego rodoviário. Para facilitar a interpretação da Figura 6.88, apresenta-se as questões que integram este inquérito, ordenadas pela sigla Q1 a Q15:

- Q1. Não me importava de viver numa rua ruidosa, se a casa onde morasse fosse boa
- Q2. Estou mais consciente sobre o ruído do que costumava ser
- Q3. Sou facilmente acordado/a com o ruído
- Q4. Se quando estou a estudar existe ruído, tento fechar a porta ou a janela ou então mudo de lugar
- Q5. Fico incomodado quando os meus vizinhos são ruidosos
- Q6. Habito-me sem dificuldade a qualquer tipo de ruído
- Q7. Muitas vezes o ruído enerva-me e fico irritado
- Q8. Não me incomoda ouvir os sons do dia-a-dia devido aos meus vizinhos (água a correr, passos, etc.)
- Q9. Quando quero estar sozinho, perturba-me o ruído proveniente do exterior
- Q10. Tenho facilidade em concentrar-me, independentemente do que ocorre em meu redor
- Q11. Existe alturas em que necessito de silêncio absoluto
- Q12. Os motociclos deviam ter silenciadores maiores
- Q13. Fico furioso/a com as pessoas que fazem ruídos que me impedem de adormecer ou trabalhar
- Q14. Não me importava de viver numa casa por paredes pouco espessas
- Q15. Sou sensível ao ruído

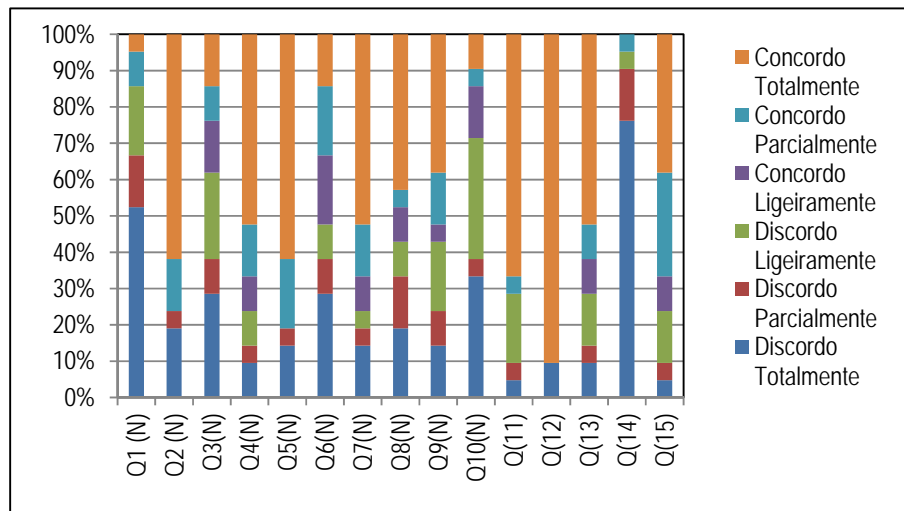


Figura 6.88- Respostas às questões sobre a sensibilidade ao ruído

Pela análise das respostas ao questionário é interessante verificar a existência de uma concordância significativa para as questões Q2 (consciência sobre o ruído), Q11 (necessidade de silêncio) e Q12 (os motociclos deviriam ter silenciadores mais eficazes). No extremo oposto (menor sensibilidade ao ruído), encontram-se as respostas às questões Q1 e Q14, respectivamente, não me importava de viver numa zona ruidosa e numa casa com pouco isolamento sonoro. Deste modo, é possível constatar que os participantes já possuem uma certa habituação ao ruído (só 40 % dos inquiridos é que indica alguma dificuldade na habituação ao ruído, Q6), possuindo alguma consciência sobre o ruído, assim como a necessidade de momentos de recolhimento e de sossego. De notar a respectiva sensibilidade relativamente a ruídos emergentes do ruído de fundo, como o proveniente do escape de motociclos (questão Q12), sensibilidade esta já expressa em entrevistas anteriores. Quando questionados sobre a sensibilidade individual ao ruído, cerca de 60% dos participantes consideram-se sensíveis ao ruído. Utilizando uma medida adaptada a esta versão do questionário de *Weinstein*, verifica-se que os entrevistados se podem considerar como sensíveis ao ruído (valor médio = 59,5, valor máximo = 66 e valor mínimo = 51), tendo em conta que a classificação média dos indivíduos não sensíveis ao ruído (para uma escala de 15 questões) corresponde a 27,9 e a classificação média dos indivíduos sensíveis ao ruído é igual a 47,7.

Na Figura 6.89, apresenta-se o resultado do cruzamento dos dados relativos ao sexo dos

inquiridos e o respectivo grau de sensibilidade, não se verificando nenhuma diferença significativa entre as duas variáveis em análise.

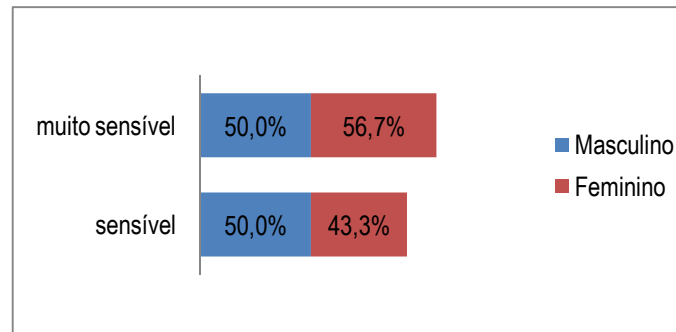


Figura 6.89 – Cruzamento entre o grau de sensibilidade ao ruído e o sexo dos inquiridos

No que respeita ao cruzamento do grau de sensibilidade com o valor médio de incomodidade, verifica-se, a partir da análise da Figura 6.90, que o facto dos inquiridos serem considerados como indivíduos muito sensíveis ao ruído não implica que expressem essa sensibilidade em termos de incomodidade induzida pelo ruído.

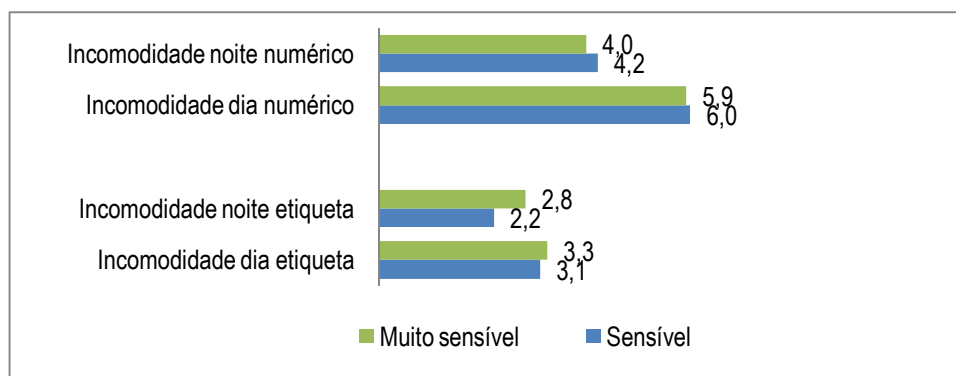


Figura 6.90- Grau de incomodidade média diurna e nocturna (escalas numéricas e de etiqueta) em função do grau de sensibilidade ao ruído dos inquiridos

Relativamente as questões sobre a incomodidade, formuladas pela seguinte frase, para ambos os períodos, diurno e nocturno:

“ Pensando nos últimos doze meses, e quando está aqui em sua casa, quanto é que o ruído proveniente do tráfego rodoviário da VCI, o incomoda ou perturba?”

Para a escala de classificação verbal (designada neste trabalho como escala de etiqueta), constatou-se, para o período diurno, a existência de 9 indivíduos a referirem-se

como incomodados devido ao ruído de tráfego rodoviário e de 3 como muito incomodados. No período nocturno, verifica-se um decréscimo da percentagem de indivíduos muito incomodados (1 indivíduo), enquanto a percentagem de indivíduos incomodados sofre um ligeiro aumento (11 indivíduos). Também na escala numérica é possível verificar a redução do número de indivíduos muito incomodados, durante o período nocturno (de oito indivíduos passam a três), bem como o aumento do número de indivíduos que se expressa como incomodados com o ruído (de quatro passam a cinco), como se pode ver na Figura 6.91. Este facto é consistente com as descrições obtidas nas entrevistas abertas, em que é referido “o ruído durante a noite e nos fins-de-semana é totalmente diferente”.

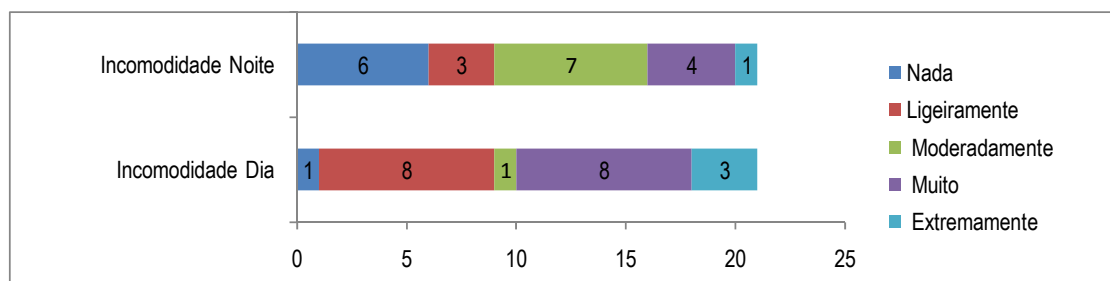


Figura 6.91 – Grau de incomodidade diurna e nocturna dos inquiridos (respostas segundo a classificação em etiqueta)

Para a escala de classificação verbal (designada neste trabalho como escala de etiqueta), constatou-se, para o período diurno, a existência de nove indivíduos a referirem-se como incomodados devido ao ruído de tráfego rodoviário e de três como muito incomodados. No período nocturno, verifica-se um decréscimo da percentagem de indivíduos muito incomodados (1 indivíduo), enquanto a percentagem de indivíduos incomodados sofre um ligeiro aumento (passando a 11 indivíduos). Também na escala numérica é possível verificar a redução do número de indivíduos muito incomodados, durante o período nocturno (de 8 indivíduos passam a 3), bem como o aumento do número de indivíduos que se expressa como incomodados com o ruído (de 4 passam a 5), como se pode ver na Figura 6.92.

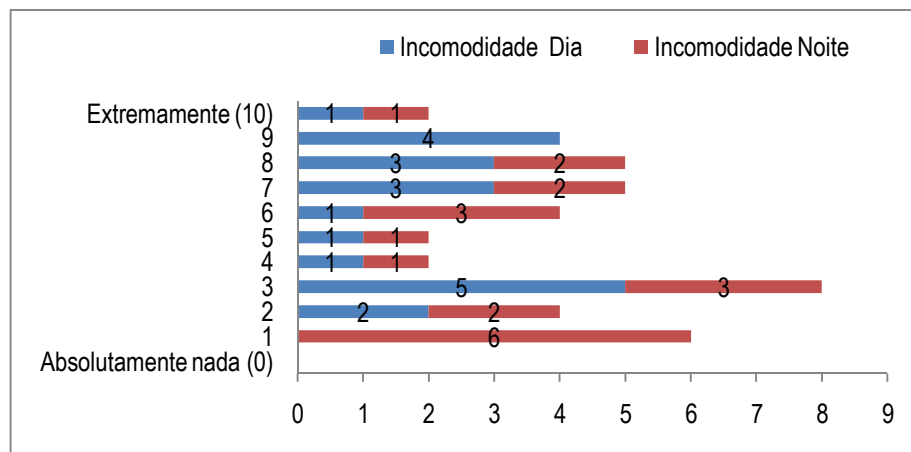


Figura 6.92 – Grau de incomodidade diurna e nocturna dos inquiridos (respostas segundo classificação numérica)

Na Figura 6.93, apresenta-se os valores médios de incomodidade expressa pelos inquiridos, para os períodos diurno e nocturno, verificando-se a partir da análise dos valores apresentados nesta figura que a incomodidade induzida pelo tráfego rodoviário é, nas duas escalas de avaliação, superior para o período diurno. Este facto é consistente com as descrições obtidas nas entrevistas abertas, em que é referido “o ruído durante a noite e nos fins-de-semana é totalmente diferente”.

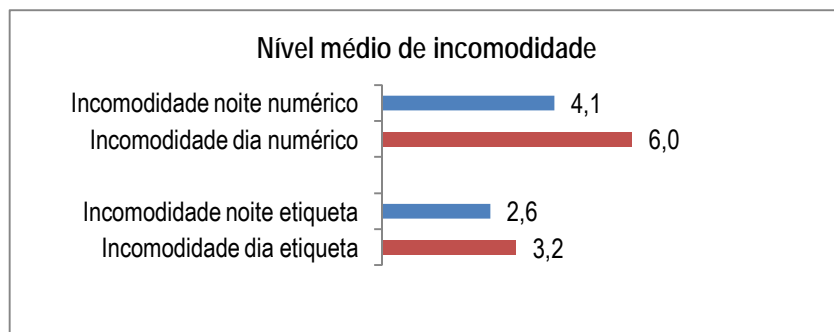


Figura 6.93 - Grau de incomodidade médio diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta)

No que respeita ao ruído emitido pela circulação de veículos na VCI que os inquiridos consideram como mais incomodativo, verificou-se que consideravam em primeiro lugar o ruído emitido pelos veículos pesados (81%), sendo de seguida indicado o ruído emitido por motociclos (57,1%) e por fim o ruído emitido pela circulação de veículos ligeiros (52,4%). Na Figura 6.94, apresentam-se graficamente os resultados referidos (em valor percentual). Note-se que estes dados se referem a uma pergunta com possibilidade de escolha múltipla, que permite aos indivíduos optarem por mais do que um item. Isto

significa que o total a que se referem as percentagens é o total de indivíduos que responderam àquele item, independentemente de cada indivíduo ter respondido a mais do que um item, sendo o respectivo somatório superior a 100%.

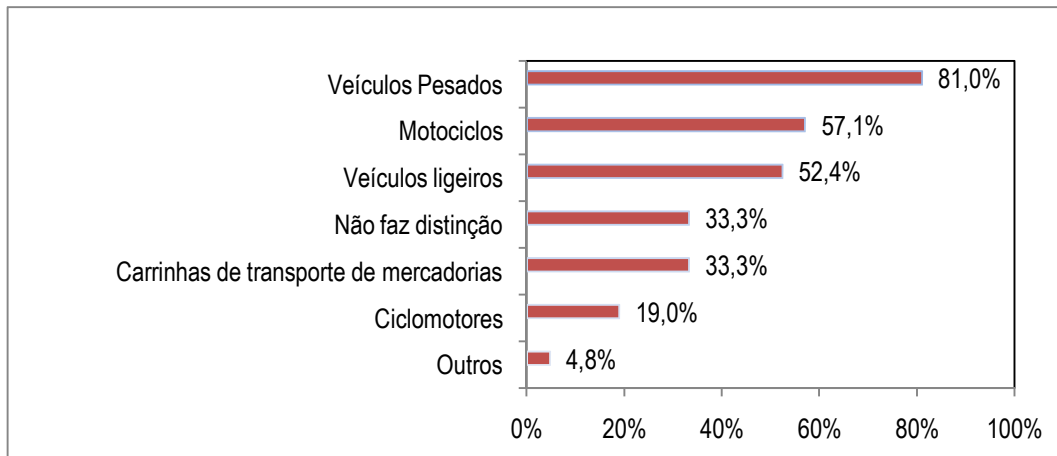


Figura 6.94 – Classificação da circulação de veículos, segundo o grau de incomodidade induzida pelo ruído

Relativamente ao modo de circulação do tráfego na VCI, a maior parte dos inquiridos referiu que sentia mais incómodo com a audição das sirenes de veículos (71,4%), seguida da circulação de motociclos a grande velocidade e a acelerar durante o período nocturno, como se pode visualizar na Figura 6.95. Os veículos em marcha lenta estão classificados em terceiro lugar (provocando incomodidade a 38,1% dos inquiridos), aos quais se seguem os veículos a travar (33,3%) e os veículos em aceleração (28,6%). Finalmente, os inquiridos reportam os alarmes de veículos como a situação que provoca menos incomodidade. Tal como no caso anterior, os dados apresentados na Figura 6.95 referem-se a uma pergunta com possibilidade de escolha múltipla, permitindo aos indivíduos optarem por mais do que um item.

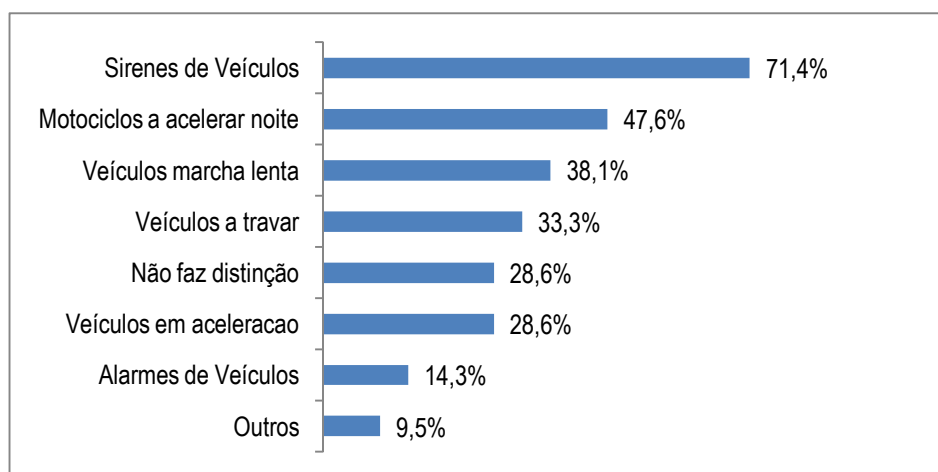


Figura 6.95 – Classificação da situação de circulação, segundo o grau de incomodidade induzida pelo ruído

6.3.5 Atitudes e efeitos do ruído

Uma outra questão que se coloca perante diferentes níveis ou tipos de ruído, importante na análise da exposição ao ruído, é a avaliação dos efeitos provocados pelo ruído de tráfego rodoviário. Os efeitos do ruído são difíceis de quantificar, dado que a tolerância dos indivíduos apresenta uma grande variação. A Organização Mundial de Saúde [Berglund *et al.*, 2000] salienta o facto de o ruído ambiente poder ter uma série de efeitos adversos directos sobre as pessoas que lhe são expostas, incluindo perturbações do sono, efeitos fisiológicos auditivos e não auditivos, fundamentalmente cardiovasculares, interferências com a comunicação e incómodos de carácter geral. A exposição ao ruído ambiente não causa, normalmente, perda da audição induzida por ruído, a não ser em casos de exposição a níveis excepcionalmente elevados durante períodos longos.

Quando interrogados sobre este tema, os entrevistados referem que têm sobretudo dificuldade em adormecer (47,6%) e desconcentração no estudo (38,1%), seguindo-se a interferência na conversação (33,3%), a dificuldade em ouvir o som da televisão e a fadiga (ambas com 28,6% das respostas). É de salientar que apenas 4 entrevistados (19,0%) referem que o tráfego da VCI não interfere com alguma das actividades do quotidiano dentro de casa. Na Figura 6.96, apresenta-se os resultados correspondentes. Mais uma vez, os dados são apresentados em percentagem e referem-se a uma pergunta com possibilidade de escolha múltipla, pelo que o respectivo somatório é superior a 100%.

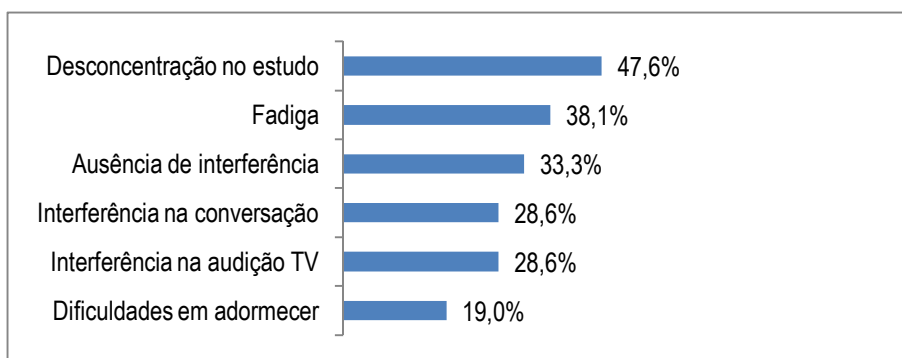


Figura 6.96– Principais efeitos do ruído apontados pelos inquiridos (valores em percentagem, uma vez que são respostas de escolha múltipla, o respectivo somatório é superior a 100%)

No que se refere às atitudes tomadas pelos inquiridos de modo a minimizar os efeitos adversos face ao ruído proveniente do tráfego rodoviário da VCI, verifica-se que, entre os que tomaram algum tipo de iniciativa para minorar os efeitos do ruído, a medida mais frequente é a colocação de vidros duplos no alojamento (42,9%), seguida da adesão a uma campanha de moradores/petição (23,8%) e da reclamação à entidade estatal (19,0%). Verifica-se ainda que 23,8% dos entrevistados refere não tomar qualquer medida face ao ruído de tráfego da VCI. Os resultados obtidos para esta questão apresentam-se na Tabela 6.11.

Tendo como objectivo o cruzamento dos dados entre o tipo de atitude tomada e outras variáveis, tais como a incomodidade média expressa pelos inquiridos, foi efectuada uma recodificação da variável atitude. A nova variável foi desagregada, apresentado as seguintes escolhas: *colocou vidros duplos, tem outros tipos de atitude e não tomou atitude*. A Figura 6.97 apresenta os resultados obtidos com esta nova recodificação.

Tabela 6.12– Atitudes face ao ruído do tráfego rodoviário da VCI, apontadas pelos inquiridos

Atitudes face ao ruído proveniente do tráfego rodoviário da VCI	N	%
Reclamação à entidade estatal	4	19,0
Adesão a uma campanha de moradores /petição	5	23,8
Introdução de vidros duplos	9	42,9
Procura de informação sobre medidas de redução de ruído	1	5,0
Reclamação à polícia	0	0,0
Utilização de protectores auditivos/ outro método para adormecer	0	0,0
Não toma atitude	5	23,8
Outras	5	23,8
<ul style="list-style-type: none"> -Colocação de painéis acrílicos na varanda -Conversa com a administração do condomínio -Mudar o quarto de dormir para a fachada mais calma - Exposições a grupos parlamentares, petições e abaixo-assinados à Estradas de Portugal, Câmara municipal do Porto -Contacto com o concessionário para a introdução de barreira acústica 		

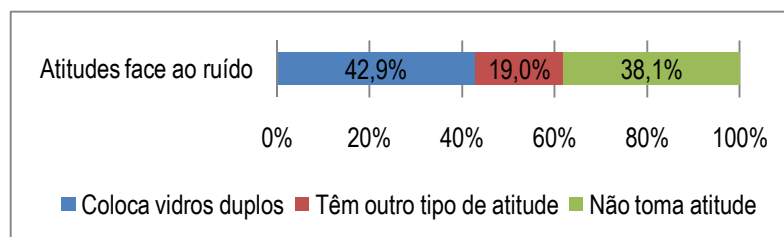


Figura 6.97 – Atitudes dos inquiridos face ao ruído

Pela análise da Figura 6.98, verifica-se que os inquiridos que se expressam como mais incomodados com o ruído de tráfego rodoviário, quer no período diurno, quer no período nocturno, são aqueles que providenciaram a introdução de vidros duplos nas suas janelas.

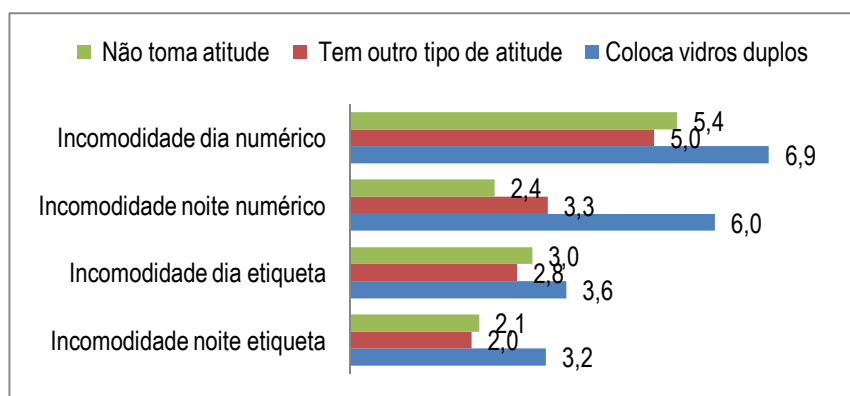


Figura 6.98 - Grau de incomodidade médio diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função da atitude face ao ruído

6.3.6 Medidas de minimização

No que respeita ao conhecimento de que estão preconizadas medidas de minimização para o local onde residem, cerca de 11 indivíduos (52,8%) afirmaram ter conhecimento sobre este assunto, enquanto que os restantes (47,2%) não tinham esse conhecimento. Constatou-se que a fonte de informação sobre as medidas de minimização preconizadas provinha essencialmente da comunicação social e dos jornais locais (28,8%). No entanto, existiam casos em que esta informação derivava do anterior proprietário (4,8%), da associação de moradores (4,8%), da empresa construtora do edifício ou de reuniões de

condomínio (9,6%). Somente um indivíduo referiu a consulta do estudo de impacto ambiental (EIA) realizado para a área em que habita.

Relativamente às expectativas associadas à eficácia da atenuação do ruído proporcionado pelas barreiras acústicas, grande parte dos entrevistados (76,2%) considera que a construção de uma barreira acústica próximo da sua residência irá melhorar a respectiva qualidade de vida e que este dispositivo permitirá a eliminação do ruído de tráfego rodoviário (23,8%), enquanto que 28,5% não concorda com a afirmação anterior (eliminação do ruído), não tendo cerca de 47,6% dos entrevistados opinião sobre o assunto. Cruzando os dados anteriores com o valor médio de incomodidade expresso pelos inquiridos, verifica-se que os indivíduos que se expressaram como mais incomodados durante o período diurno são aqueles que, em média, concordam totalmente com a afirmação de que a aplicação deste tipo de medida de minimização de ruído irá introduzir melhorias na sua qualidade de vida. No entanto, deve-se notar que, neste caso, grande parte dos indivíduos entrevistados e que reportam valores de incomodidade média elevada não concorda nem discorda com a afirmação em análise nesta questão (v. Figura 6.99).

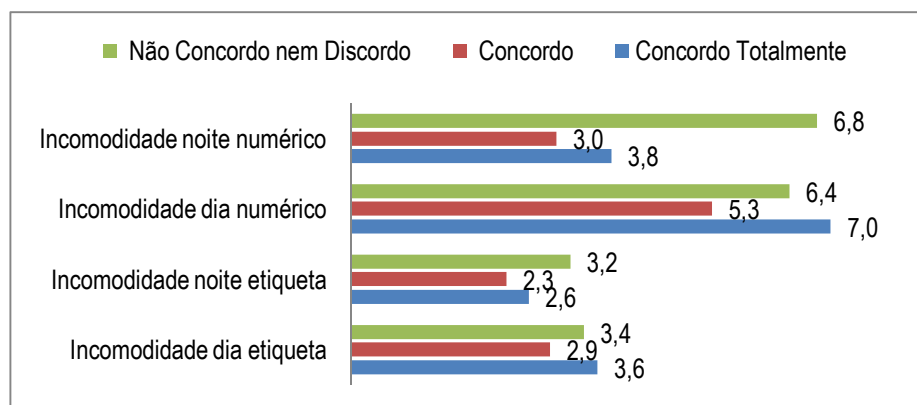


Figura 6.99- Grau de incomodidade médio diurno e noturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função da concordância com a afirmação de que a introdução de uma barreira acústica irá melhorar a qualidade de vida

No que respeita à afirmação: “A construção da barreira acústica vai eliminar o ruído de tráfego rodoviário na minha residência”, 5 indivíduos (23,8%) concordam com esta afirmação, enquanto que 6 indivíduos (28,6%) discordam, e 10 (47,6%) não tem opinião. Na Figura 6.100, apresenta-se o cruzamento das respostas dos inquiridos à questão anterior com os valores de incomodidade média por eles expressa. De notar que a

maioria dos inquiridos que se declararam como muito incomodados, quer no período nocturno, quer no diurno, tem tendência para discordar totalmente com a afirmação de que a introdução de uma barreira acústica, próxima da sua residência, irá eliminar o ruído, o que é revelador de uma expectativa realista da introdução desta medida. No entanto, é também de salientar o caso oposto, principalmente durante o período diurno, em que os inquiridos concordam totalmente com a afirmação sob escrutínio, e reportam valores médios de incomodidade muito elevados.

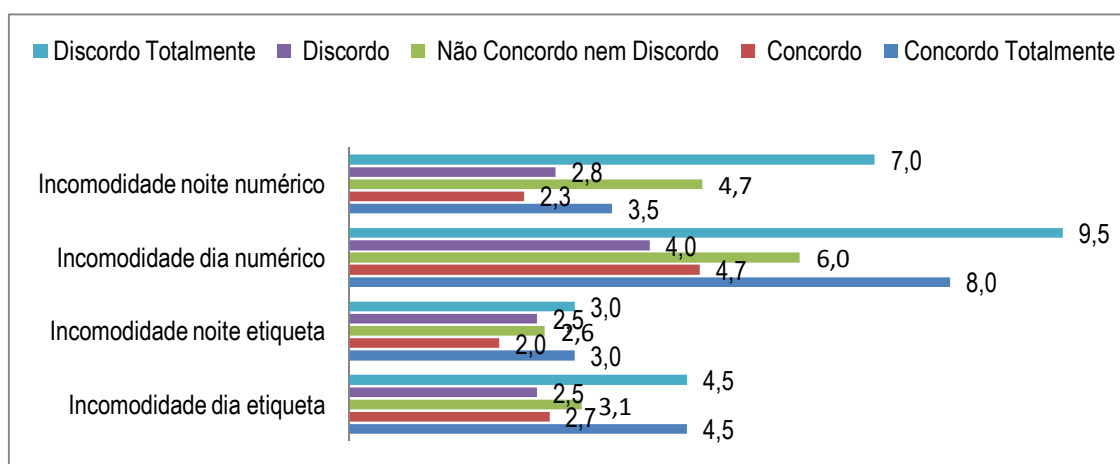


Figura 6.100 - Grau de incomodidade médio diurno e nocturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função da concordância com a afirmação de que a introdução de uma barreira acústica irá melhorar eliminar o ruído de tráfego rodoviário próximo da residência

Relativamente ao tipo de material da barreira acústica, a maior parte dos entrevistados (66,7%) considera que este tipo de dispositivo de redução de ruído, próximo das residências, deve ter painéis transparentes, enquanto 28,6% não tem opinião sobre este facto. Na Figura 6.101, apresenta-se o cruzamento das respostas dos inquiridos à questão anterior, com os valores de incomodidade média expressa pelos inquiridos. Neste caso, é interessante notar uma tendência para a diferenciação entre os dois períodos, o diurno e o nocturno, verificando-se que os indivíduos que se expressaram como muito incomodados durante o período diurno têm tendência a concordar totalmente com a afirmação sob escrutínio. Tal não se verifica com os indivíduos que se expressaram como mais incomodados durante o período nocturno.

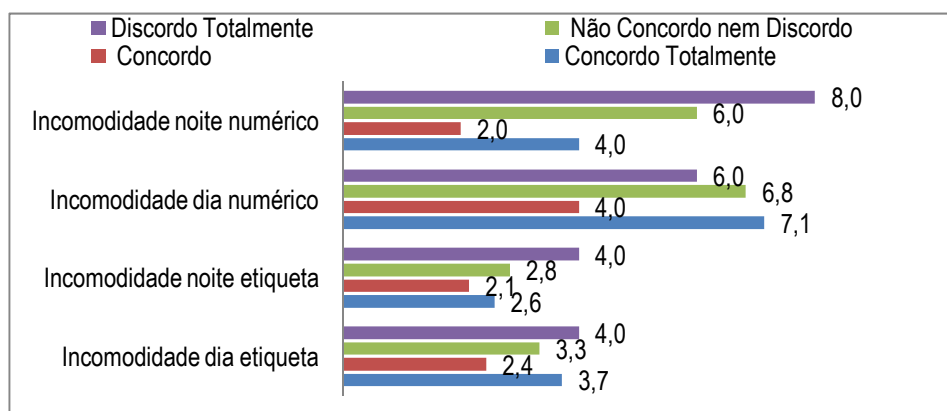


Figura 6.101 - Grau de incomodidade médio diurno e noturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função da concordância com a afirmação de que a uma barreira acústica, próximo de residências deve ter painéis transparentes

No que respeita à introdução de pavimento com características de redução de ruído, cerca de 61,9% prefere esta medida em vez da introdução de barreiras acústicas, enquanto que 23,8% é de opinião contrária. Já no que respeita à diminuição da velocidade de circulação dos veículos, cerca de 76% concorda com a adopção desta medida. Cruzando os dados anteriores com o valor médio de incomodidade expresso pelos inquiridos (v. Figura 6.102), verifica-se a existência de duas tendências opostas, relativamente aos indivíduos que se expressam como muito incomodados pelo ruído de tráfego rodoviário. Por um lado existem os que concordam totalmente com a afirmação sob escrutínio (valores médios de incomodidade de 5,3 e 7,3, respectivamente para os períodos noturno e diurno) e os que discordam totalmente com esta afirmação (valores médios de incomodidade de 6 e 7,5, respectivamente para os períodos noturno e diurno, na escala numérica).

Quando questionados sobre a principal vantagem que esperam com a construção de uma barreira acústica próximo da sua residência, 19 indivíduos (90,5%) apontaram a diminuição do ruído. No entanto, existiram casos de indivíduos que referiram a segurança relativamente a acidentes na VCI e um caso em que referiu uma pessoa que a introdução da barreira não apresenta vantagem alguma. Fazendo o cruzamento destes dados com a incomodidade média reportada pelos inquiridos, verificou-se que os indivíduos que se encontram em média mais incomodados não sentem qualquer vantagem adicional proveniente da introdução de uma barreira acústica, como se pode constatar na Figura 6.103.

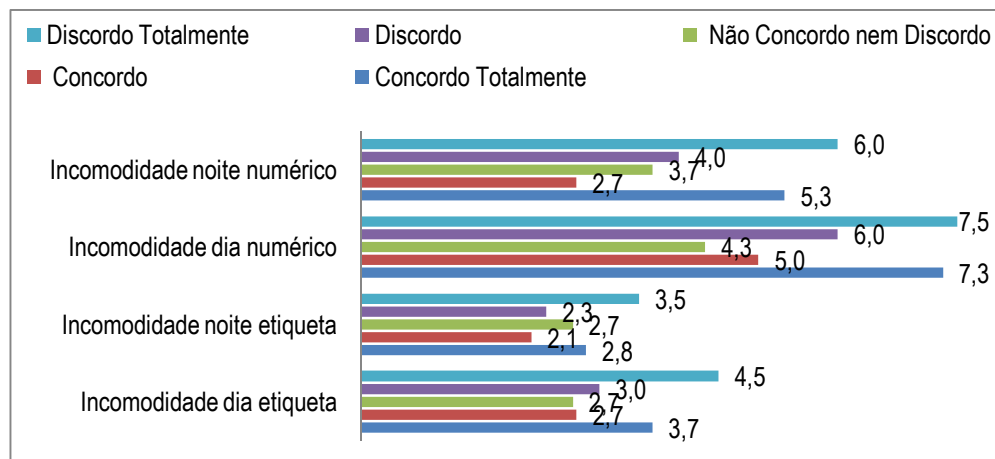


Figura 6.102 - Grau de incomodidade médio diurno e noturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função da concordância com a afirmação de que é preferível a introdução de um pavimento com características absorventes sonoras à construção de uma barreira acústica, próximo das suas residências

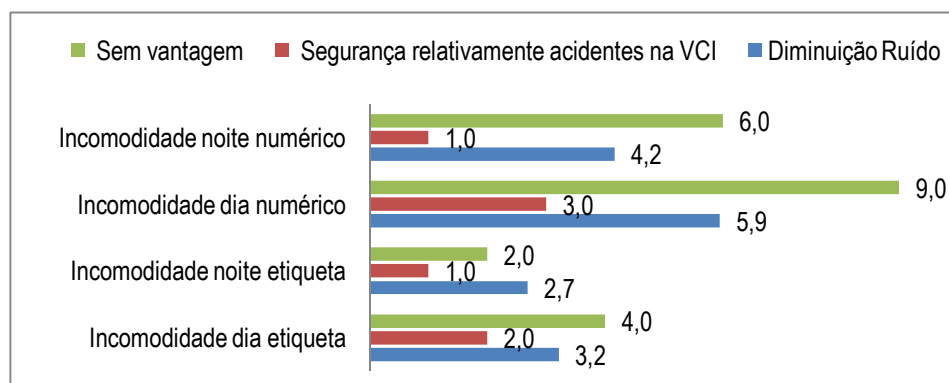


Figura 6.103 - Grau de incomodidade médio diurno e noturno dos inquiridos (respostas segundo a classificação numérica e em etiqueta), em função do que os inquiridos consideram ser a vantagem associada à introdução de uma barreira acústica

Na Figura 6.104, é possível visualizar as quatro fotografias que foram apresentadas aos inquiridos, e a respectiva numeração associada. No total, foram solicitadas 3 classificações distintas deste conjunto de fotografias, designadamente, a ordenação segundo a eficácia visual na atenuação do ruído, segundo o grau de preferência visual e segundo a eficácia audiovisual.

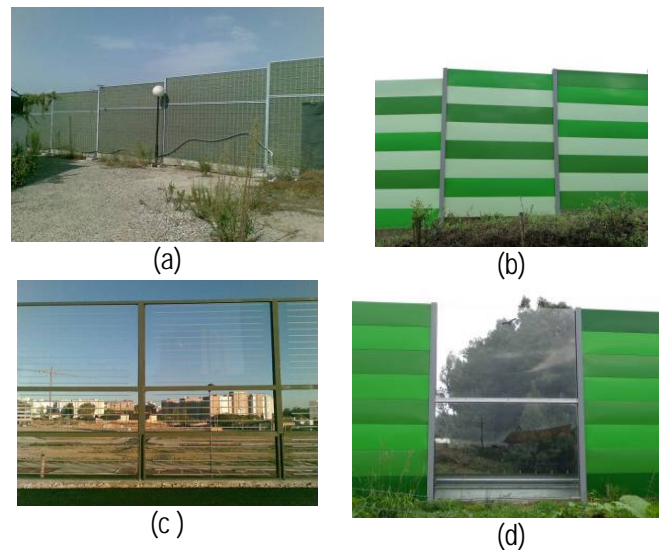


Figura 6.104 – Fotografias de barreiras acústicas apresentadas no questionário, (a) Fotografia 1 (barreira verde); (b) Fotografia 2 (barreira em painéis metálicos); (c) Fotografia 3 (barreira em acrílico) e (d) Fotografia 4 (barreira mista)

Na Figura 6.105, apresenta-se os resultados obtidos para a classificação atribuída pelos inquiridos, quando lhe foi solicitada uma ordenação segundo o grau de eficácia visual que atribuíram a cada uma das barreiras. Para o efeito, foi sugerida a ordenação das fotografias de acordo com a expectativa da atenuação do ruído proporcionada pela barreira, tendo em conta somente o aspecto visual da mesma, por ordem de eficácia. Aos inquiridos era somente fornecida informação sobre os materiais que constituíam os painéis de cada barreira acústica. Neste caso, a ordenação foi a seguinte (da mais eficaz até à menos eficaz): Fotografia 3, Fotografia 4, Fotografia 2 e, finalmente Fotografia 1. No entanto, não se verificaram diferenças significativas entre o nível de eficácia atribuído às diferentes fotografias ($\chi^2(3) = 2.64, p = 0.451$).

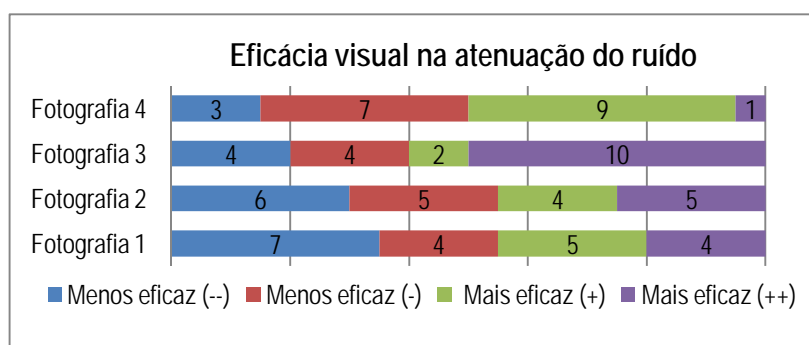


Figura 6.105 – Classificação das quatro fotografias de barreiras acústicas apresentadas aos inquiridos de acordo com a eficácia visual na atenuação ao ruído atribuída. Fotografia 1 (barreira verde); Fotografia 2 (barreira em painéis metálicos); Fotografia 3 (barreira em acrílico) e Fotografia 4 (barreira mista)

As respostas dos participantes quando questionados sobre a agradabilidade estética de cada barreira acústica são apresentadas na Figura 6.106, tendo a respectiva ordenação, da mais agradável para a menos agradável sido: Fotografia 3, Fotografia 4, Fotografia 1 e finalmente Fotografia 2. Neste caso, verifica-se que existem diferenças significativas ao nível da agradabilidade entre as quatro fotografias ($\chi^2(3) = 36.043$, $p = 0.000$). Nas comparações múltiplas de médias, entre cada par de categorias, foi utilizado o teste não paramétrico de *Wilcoxon*, tendo sido utilizada a correcção de Bonferroni, com um nível de significância de 0.0083. Nesta situação, obtiveram-se diferenças significativas nos seguintes casos:

- Os participantes apresentam maior preferência pela barreira da Fotografia 3 da Figura 6.104 quando comparada com as barreiras da Fotografia 1 e da Fotografia 2 ($Z = -0.926$, $p = 0.000$; $Z = -3.784$, $p = 0.000$).
- Os participantes apresentam maior preferência pela barreira da fotografia 4 quando comparada com a da fotografia 1 e fotografia 2 ($Z = -2.908$, $p = 0.004$; $Z = -3.630$, $p = 0.000$).

Não se verificaram diferenças na agradabilidade entre as barreiras das Fotografias 1 e 2, e entre as barreiras das Fotografias 3 e 4.

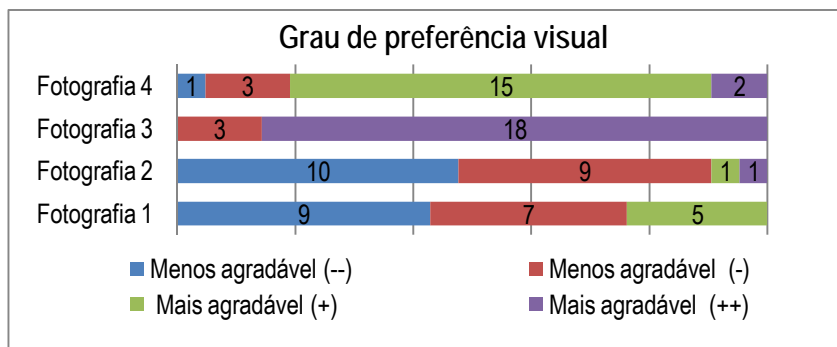


Figura 6.106 – Classificação das quatro fotografias de barreiras acústicas apresentadas aos inquiridos de acordo com o grau de preferência visual.

Quando se apresenta, conjuntamente com cada fotografia, o registo áudio correspondente (duração aproximada de 60 segundos), a ordenação no que respeita à eficácia de cada barreira é a seguinte (da mais eficaz para a menos eficaz): Fotografia 4; Fotografia 3; Fotografia 1 e Fotografia 2, como se pode visualizar na Figura 6.107. Neste caso, existem diferenças significativas no nível de eficácia atribuído às 4 barreiras ($\chi^2(3) = 36.379$, $p = 0.000$). Estas diferenças verificaram-se nos seguintes casos:

- Os participantes atribuíram maior eficácia à barreira da fotografia 4 quando comparada com a das Fotografias 1 e 2 ($Z = -3.599$, $p = 0.000$; $Z = -3.959$, $p = 0.000$).
- Os participantes atribuíram maior eficácia à barreira da Fotografia 3 quando comparada com a Fotografia 2 ($Z = -3.491$, $p = 0.000$).

Não se verificaram diferenças a nível da eficácia atribuída entre as barreiras das Fotografias 1 e 2, Fotografias 1 e 3 e Fotografias 3 e 4.

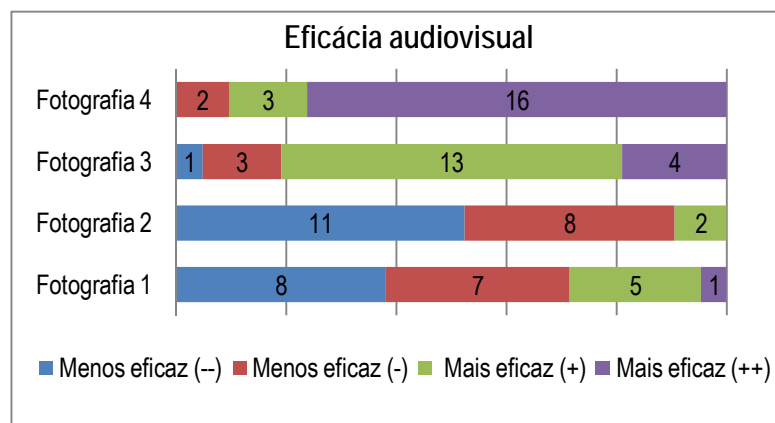


Figura 6.107 – Classificação das quatro fotografias de barreiras acústicas, quando apresentadas simultaneamente com os registos áudio associados, de acordo com o grau de eficácia áudio visual

No que respeita à comparação entre os registos áudio relativos ao som gravado por detrás da barreira e ao som registado sem a presença da barreira, verificou-se que 20 dos 21 participantes, preferem o som registado por detrás da barreira, como se pode ver no gráfico da Figura 6.108.

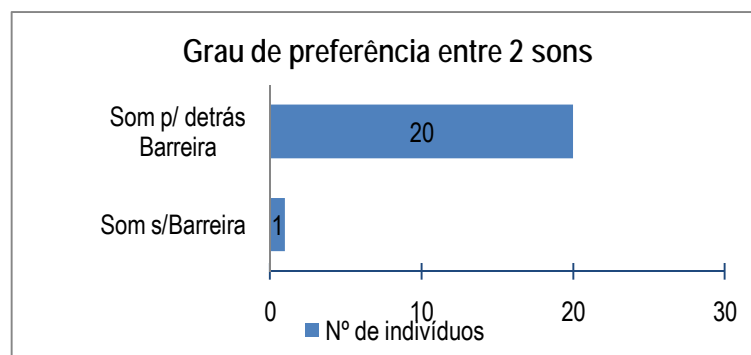


Figura 6.108 – Comparação entre o grau de preferência do som registado por detrás da barreira e o som registado sem a barreira

Quando questionados sobre a percentagem de redução que conseguiam identificar entre os dois sons, verificou-se uma variação da respectiva redução entre 5% (um participante) e 50% (3 participantes), como se apresenta na Figura 6.109.

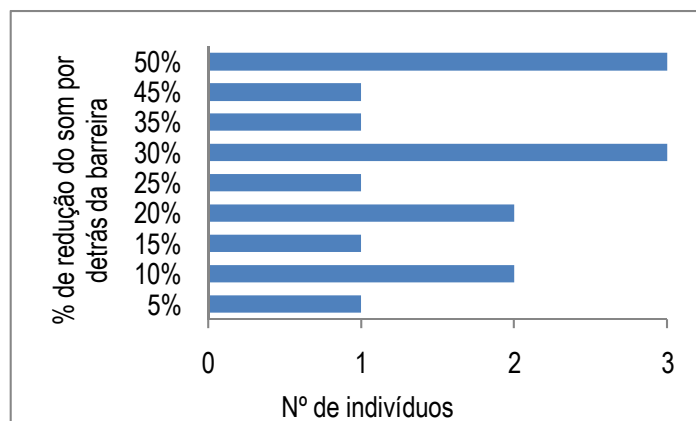


Figura 6.109 – Percentagem de redução do ruído de tráfego, conferida pela presença da barreira, em função do número de indivíduos que a reportaram

Na Figura 6.110, apresenta-se os resultados obtidos na comparação dos registos áudio referentes à passagem do mesmo veículo ligeiro, com uma velocidade de circulação de 80 km/h, em diferentes tipos de pavimentos (referenciado como pavimento de teste, na Figura 6.110) e a correspondente comparação com a passagem do mesmo veículo, a circular com a mesma velocidade, num pavimento de betão betuminoso denso (referenciado BBdenso, na Figura 6.110). A partir da análise desta figura, é possível verificar que a maior parte dos indivíduos preferem o som associado à passagem do veículo num pavimento de betão betuminoso em microbetão relativamente ao som do pavimento de betão betuminoso denso. Em seguida, a maior parte dos indivíduos prefere o som associado à passagem do veículo num pavimento de betão betuminoso drenante e, em menor número, o som associado à passagem do veículo num pavimento de betão betuminoso com betume modificado de borracha (mistura rugosa). Em ultimo lugar, os indivíduos preferem o registo áudio associado à passagem do veículo ligeiro num pavimento em betão betuminoso rugoso.

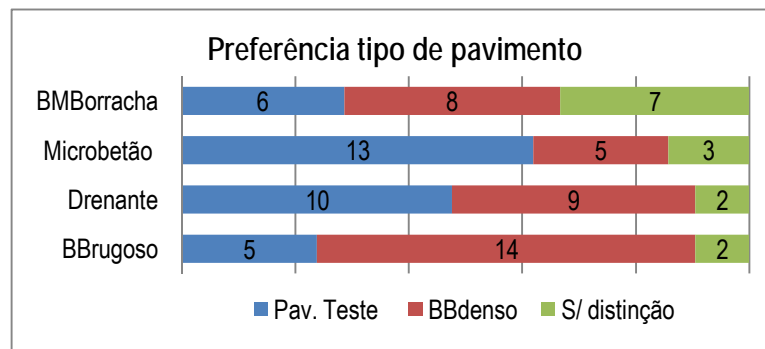


Figura 6.110 – Preferência expressa pelos indivíduos entre os pavimentos em teste (betão modificado com borracha; microbetão; drenante; e betão betuminoso rugoso) e o pavimento de betão betuminoso denso

Relativamente aos registos áudio associados à circulação de um veículo ligeiro, com velocidades distintas, num pavimento de betão betuminoso com betume modificado com borracha, somente se efectuou a comparação para duas velocidades de circulação, enquanto que num pavimento em betão betuminoso drenante o veículo circulou com 3 velocidades distintas. Este facto deriva da constatação de que para este ultimo ensaio, verificava-se um ligeiro cansaço dos indivíduos com a audição dos registos áudio. Na Figura 6.111, apresenta-se os resultados destas comparações. Neste caso, não se verificaram diferenças significativas entre o nível de agradabilidade atribuído aos registos associados às diferentes velocidades ($Z = -0.229$, $p = 0.819$).

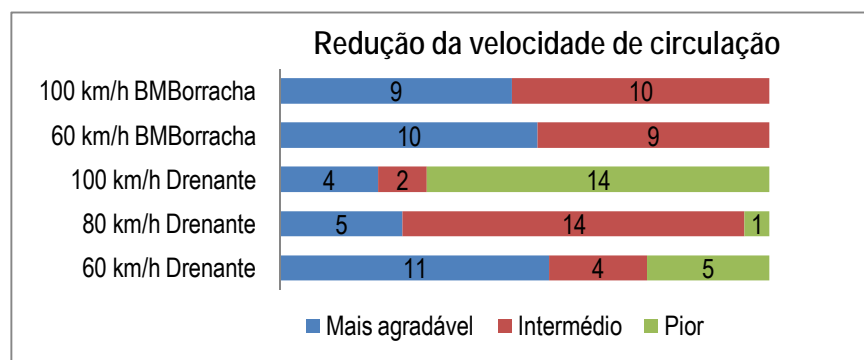


Figura 6.111 – Preferência expressa pelos indivíduos para a velocidade de circulação de um veículo ligeiro, num pavimento de betão modificado de borracha (velocidade de passagem do veículo de 60 km/h e 100km/h); e num pavimento drenante (velocidade de passagem do veículo de 60 km/h, 80 km/h e 100km/h)

No que respeita à circulação de um veículo ligeiro num pavimento de betão betuminoso drenante, verifica-se que os inquiridos preferem os registos associados às velocidades de circulação mais baixas. De facto, verificou-se a existência de diferenças significativas a nível da agradabilidade entre os registos associados às três velocidades de circulação ($\chi^2(3) = 7.600$, $p = 0.022$).

6.3.7 Associação entre parâmetros físicos e os dados de percepção

Para os registos áudio associados aos sons gravados por detrás das barreiras acústicas, apresenta-se nas Figuras 6.112 a 6.117 a ordenação da eficácia audiovisual atribuída pelos inquiridos, desde a mais eficaz, à qual corresponde o valor 1, até à menos eficaz, a que foi atribuída o valor 4. Conjuntamente com esta classificação, está associada a cada fotografia, o valor referente às medidas físicas do registo áudio, desde o mais baixo (valor 1) até ao mais elevado (valor 4). Foram analisadas as seguintes medidas físicas: nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, *sensação de intensidade auditiva* e correspondente nível percentil de 5% e parâmetro psicoacústico *agudeza*.

Pela análise da Figura 6.112, é possível verificar a concordância entre a classificação dos valores do nível sonoro contínuo equivalente ponderado A associado aos registos áudio da Fotografia 1 (barreira verde, posição 3) e da Fotografia 4 (barreira mista, posição 1), com a classificação atribuída pelos inquiridos na avaliação subjectiva da eficácia audiovisual. No que respeita aos registos áudio relativos à Fotografia 2 (barreira metálica), verifica-se que a correspondente avaliação de eficácia audiovisual é inferior (posição 4) ao valor numérico da grandeza física em análise (posição 2).

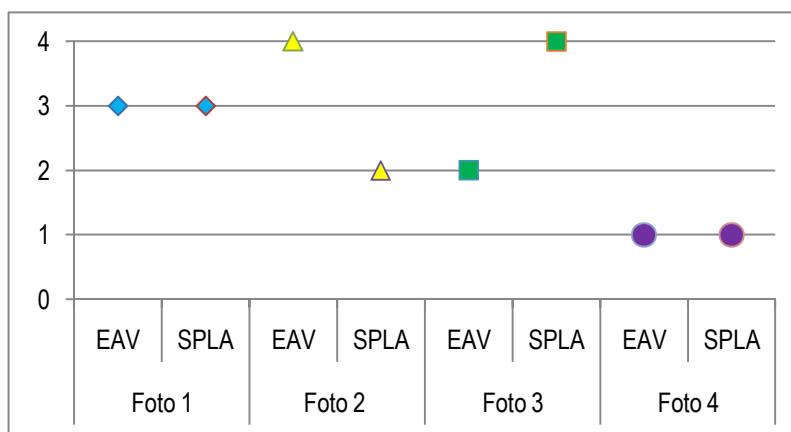


Figura 6.112 – Ordenação para a eficácia audiovisual (EAV) na apresentação simultânea da fotografia e registo áudio associado por detrás da barreira acústica, e do nível sonoro, ponderado A (SPLA), de cada registo áudio

Tendo em conta que a Fotografia 2 está classificada em último lugar no que respeita à preferência visual, o resultado anterior sugere que a sua apreciação visual tenha, de algum modo, condicionado a respectiva avaliação da eficácia audiovisual. Para a barreira

acústica da Fotografia 3 (barreira em acrílico), sucede o oposto do caso anterior, verificando-se uma valorização da eficácia audiovisual (posição 2) relativamente ao valor da medida física (posição 4). Note-se que a barreira da Fotografia 3 corresponde à fotografia mais valorizada do ponto de vista de preferência estética.

Na Figura 6.113 apresenta-se os resultados para a ordenação da eficácia audiovisual efectuada pelos inquiridos e do valor associado à *sensação de intensidade auditiva*, desde o valor mais baixo, 1, até ao valor mais elevado, 4). Neste caso, só se verifica a concordância para os resultados associados à Fotografia 4 (barreira mista), que correspondem quer à barreira avaliada com a melhor eficácia audiovisual, quer àquela em que o valor da grandeza física em análise é inferior.

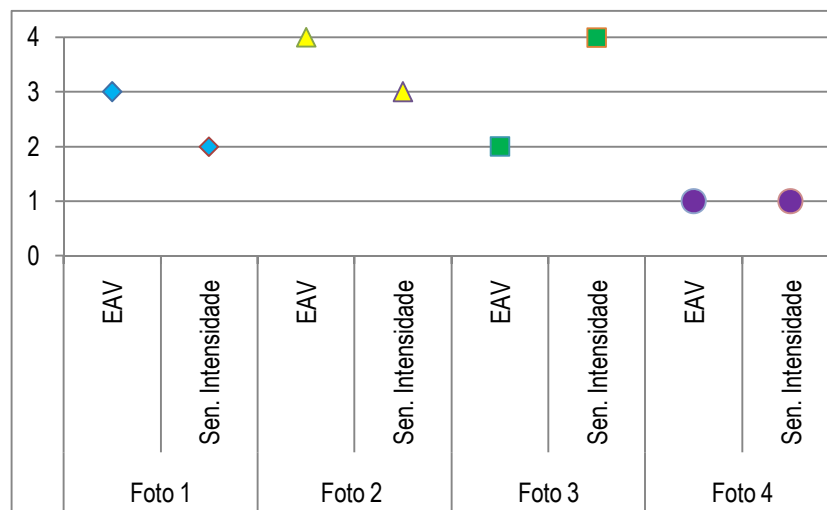


Figura 6.113 – Ordenação para a eficácia audiovisual (EAV) na apresentação simultânea da fotografia e registo áudio associado por detrás da barreira acústica (escala entre a mais eficaz (1) até a menos eficaz (4)), e da *sensação de intensidade auditiva*, de cada registo áudio, ordenado desde o menor valor (1) até ao maior valor (4)

No que respeita ao nível percentil 5% da *sensação da intensidade auditiva*, apresenta-se na Figura 6.114 os resultados da ordenação da percepção subjectiva da eficácia audiovisual e dos correspondentes valores deste parâmetro psicoacústico. Neste caso, é possível constatar-se a concordância entre os resultados associados as Fotografias 4 (barreira mista) e 2. Note-se que, para as restantes duas fotografias, as diferenças na ordenação entre a percepção da eficácia atribuída pelos inquiridos e a ordenação deste parâmetro psicoacústico são inferiores às da Figura 6.112, relativas ao nível sonoro ponderado A.

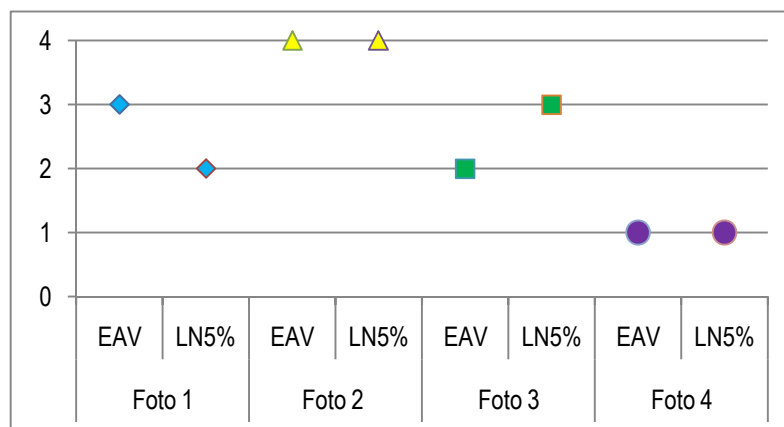


Figura 6.114– Ordenação para a eficácia audiovisual (EAV) na apresentação simultânea da fotografia e registo áudio associado por detrás da barreira acústica (escala entre a mais eficaz (1) até a menos eficaz (4)), e do percentil de 5%, para a *sensação de intensidade auditiva*, de cada registo áudio, ordenado desde o menor valor (1) até ao maior valor (4)

Na Figura 6.115, apresenta-se os resultados para a ordenação da eficácia audiovisual efectuada pelos inquiridos, e para o valor associado ao parâmetro psicoacústico *agudeza*. Neste caso, não se verifica qualquer concordância entre os dois tipos de resultados.

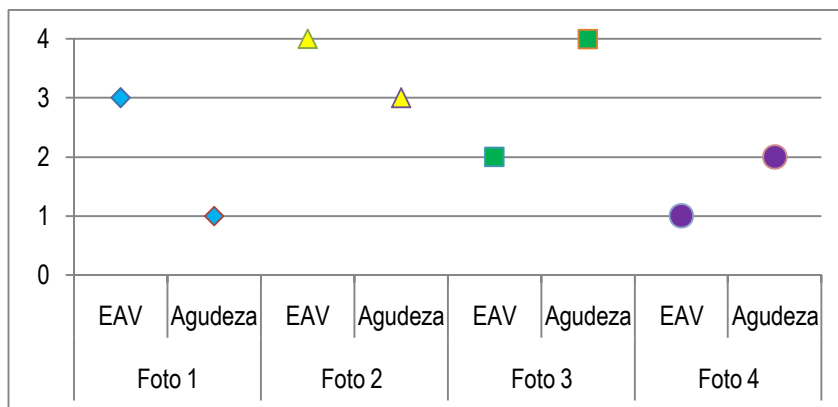


Figura 6.115 – Ordenação para a eficácia audiovisual (EAV) na apresentação simultânea da fotografia e registo áudio associado por detrás da barreira acústica (escala entre a mais eficaz (1) até a menos eficaz (4)), e da *agudeza*, de cada registo áudio, ordenado desde o menor valor (1) até ao maior valor (4)

Para os registos áudio associados aos sons da passagem de um veículo ligeiro em diferentes tipos de pavimentos, apresenta-se nas Figuras 6.116 a 6.119 a ordenação da eficácia áudio atribuída pelos inquiridos (desde 1, mais eficaz, até 4, menos eficaz) e, conjuntamente com esta classificação, apresenta-se também a ordenação do valor associado às medidas físicas em análise, desde o valor mais baixo (1), até ao valor mais

elevado (4). Foram analisadas as seguintes medidas físicas: nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, nível sonoro máximo, *sensação de intensidade auditiva* máxima e parâmetro psicoacústico *agudeza*. Pela análise da Figura 6.116, é possível verificar que não existe uma concordância entre os aspectos referentes à avaliação subjectiva da eficácia áudio e o valor correspondente do nível sonoro, ponderado A, associado à passagem dos veículos ligeiros em qualquer dos pavimentos em análise.

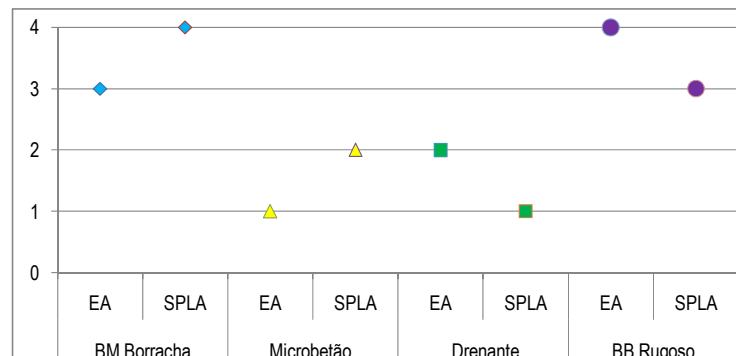


Figura 6.116– Ordenação para a preferência da passagem do mesmo veículo ligeiro em 4 pavimentos (betão modificado com borracha; microbetão; drenante; e betão betuminoso rugoso), escala, (1) mais agradável até (4) menos agradável, e do valor do nível sonoro, ponderado A, do registo áudio associado (escala, menor valor (1) até ao maior valor (4))

No entanto, no caso da medição do nível sonoro máximo e da avaliação subjectiva da eficácia áudio, verificou-se a concordância para uma das situações em estudo, como se pode observar pela análise da Figura 6.117, designadamente no caso da passagem do veículo ligeiro num pavimento em betume modificado com borracha.

Efectuando a mesma comparação com o parâmetro psicoacústico valor máximo da *sensação de intensidade auditiva*, verifica-se a existência de uma concordância mais acentuada entre estes dois parâmetros (avaliação subjectiva e parâmetro psicoacústico em análise). Esta comparação é apresentada na Figura 6.118.

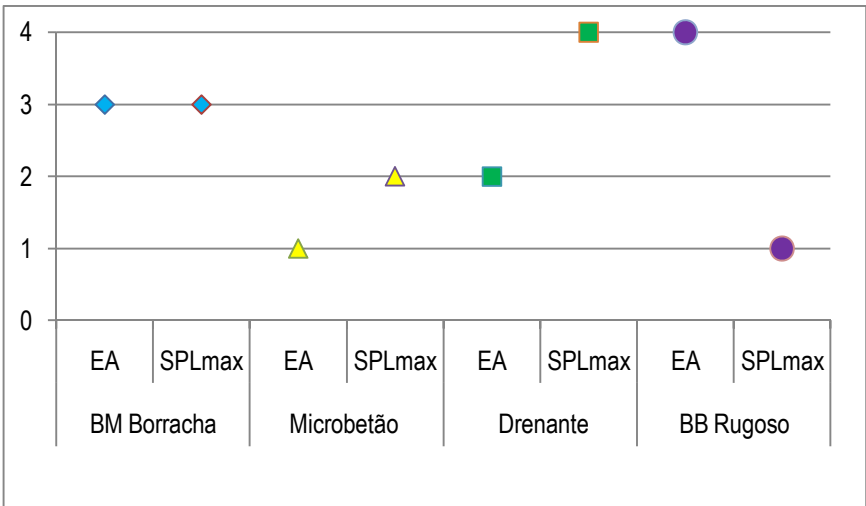


Figura 6.117– Ordenação para a preferência da passagem do mesmo veículo ligeiro em 4 pavimentos (betão modificado com borracha; microbetão; drenante; e betão betuminoso rugoso), escala, mais agradável (1) até menos agradável (4), e do valor do nível sonoro, máximo, do registo áudio associado (escala, menor valor (1) até ao maior valor (4))

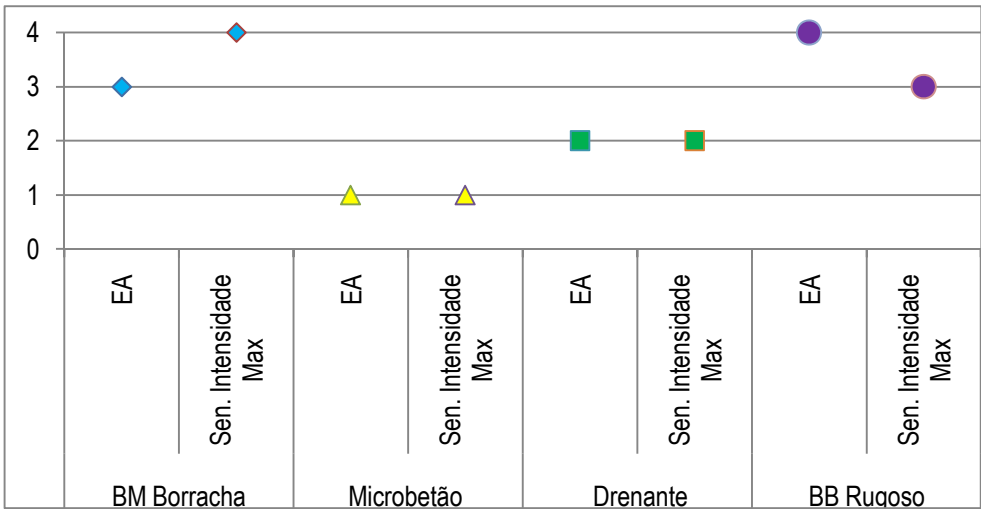


Figura 6.118– Ordenação para a preferência da passagem do mesmo veículo ligeiro em 4 pavimentos (betão modificado com borracha; microbetão; drenante; e betão betuminoso rugoso) escala, mais agradável (1) até menos agradável (4), e da sensação de intensidade máxima associada a cada registo áudio, ordenada desde o menor valor (1) até ao maior valor (4)

Na Figura 6.119, apresenta-se os resultados para a ordenação da eficácia áudio atribuída pelos inquiridos e o valor associado ao parâmetro psicoacústico *agudeza*. Neste caso, também não se verifica qualquer concordância entre os dois tipos de resultados.

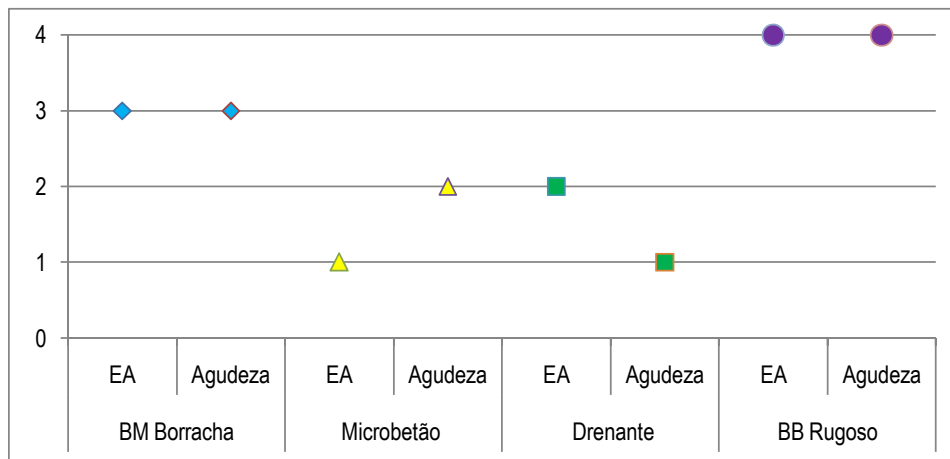


Figura 6.119– Ordenação para a preferência da passagem do mesmo veículo ligeiro em 4 pavimentos (betão modificado com borracha; microbetão; drenante; e betão betuminoso rugoso) escala, mais agradável (1) até menos agradável (4), e da agudeza, do registo áudio associado (escala, desde o menor valor (1) até ao maior valor (4))

No que respeita aos registos áudio associados aos sons da passagem de um veículo ligeiro num pavimento drenante, com diferentes velocidades de circulação, e a respectiva comparação com a eficácia áudio atribuída pelos inquiridos, apresenta-se na Figura 6.120 os resultados obtidos. Esta Figura refere-se ao parâmetro psicoacústico *sensação de intensidade auditiva*. No entanto, foram obtidas descrições idênticas para as grandezas nível sonoro ponderado A e percentil 5% da *sensação de intensidade auditiva*. Note-se a total concordância que existe entre os dois parâmetros em análise, à medida que se aumenta a velocidade de circulação do veículo.

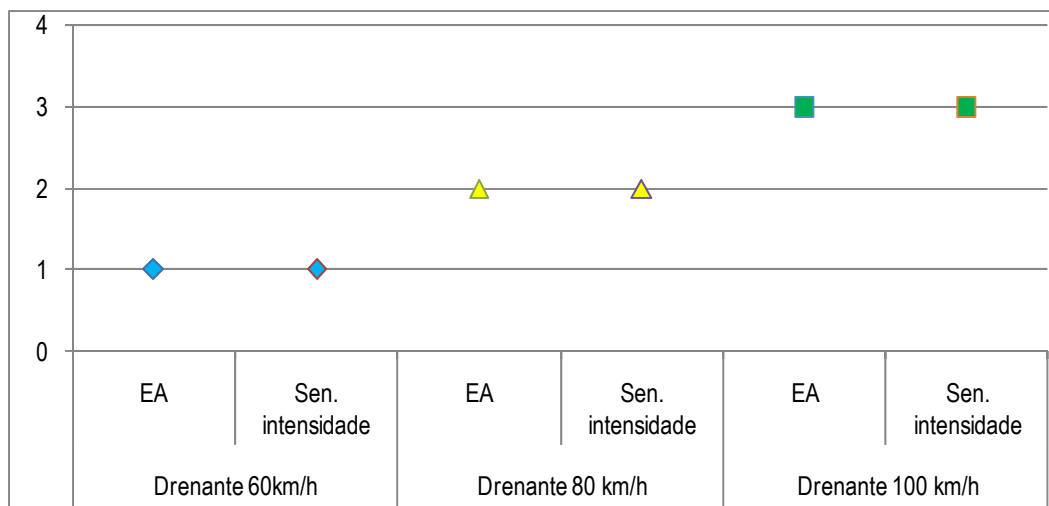


Figura 6.120– Ordenação para a preferência da passagem do mesmo veículo ligeiro no pavimento drenante (velocidade de passagem do veículo de 60 km/h, 80 km/h e 100km/h) escala, mais agradável (1) até menos agradável (4), e a *sensação de intensidade auditiva* do registo áudio associado (escala, desde o menor valor (1) até ao maior valor (4))

6.3.8 Discussão e considerações finais

No que respeita à análise dos resultados do inquérito sócio-acústico realizado é interessante notar que os inquiridos, se sentem em média mais incomodados durante o período diurno, mesmo não permanecendo nas suas residências durante todo o dia. Para as questões relativas às expectativas de eficácia na atenuação do ruído proporcionada por barreiras acústicas, nota-se a existência de grandes grupos de respostas opostas (v. Figura 6.99 e 6.100), associadas a indivíduos com um valor médio de incomodidade acentuado.

Para os registos áudio gravados por detrás das barreiras acústicas, relativamente à associação entre os parâmetros físicos e os dados de percepção áudio visual atribuída pelos inquiridos é de constatar a grande concordância entre a ordenação subjectiva atribuída pelos inquiridos, e os valores do percentil de 5% da *sensação de intensidade auditiva*, a par com os valores do nível sonoro ponderado A. No que respeita aos sons da passagem de um veículo ligeiro em diferentes tipos de pavimentos, note-se que a maior concordância entre a classificação subjectiva e os valores físicos foi observada para o valor máximo da *sensação de intensidade auditiva*.

Capítulo 7: Conclusões e perspectivas futuras

7.1 Considerações finais

Neste trabalho, foram desenvolvidos dois inquéritos, um para avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos ao ruído de tráfego e o outro relativo à percepção das medidas de minimização de ruído. Os respectivos conteúdos foram baseados não só na pesquisa bibliografia efectuada, mas também nas entrevistas semi-estruturadas previamente realizadas. Para a sua efectivação, foi necessária uma abordagem multi-disciplinar, na medida em que se necessitou de recorrer de conhecimentos de psicologia ambiental, de estatística, de acústica e de psicoacústica.

O primeiro passo constituiu a realização de entrevistas piloto, semi-estruturadas, de modo a avaliar a percepção dos indivíduos face ao ruído de tráfego rodoviário em zonas urbanas. Este aspecto mostrou-se essencial, pois foi possível fazer um levantamento das fontes de ruído presentes e da respectiva incomodidade. A análise do conteúdo destas entrevistas permitiu estruturar o inquérito para a avaliação da estrutura cognitiva das fontes de ruído de tráfego em zonas urbanas. Os resultados obtidos permitiram constatar a existência de pares de adjectivos menos adequados para a utilização numa escala de diferencial semântico, em português, como, por exemplo, os pares escuro-claro e excitante-aborrecido.

Posteriormente, foi efectuado um tratamento estatístico dos dados, por meio de uma análise multivariada, com recurso a análise factorial de componentes principais. O objectivo desta análise foi a sumarização e a redução da informação, o que permitiu a extracção de 4 factores ou componentes. O primeiro factor sumariza os significados contidos em diversas escalas, entre as quais os pares Incómodo-Comódo, Confortável-Desconfortável, Calmante-Irritante têm maior peso. Este primeiro factor, designado por apreciação qualitativa, integra adjectivos qualificadores da apreciação de um som e da sua intensidade, sugerindo a importância de uma apreciação de carácter mais qualitativo, que deve ser adicionada ao aspecto quantitativo da avaliação de um registo sonoro. O segundo factor compreende aspectos principalmente relacionados com as escalas Regular-Irregular, Constante-Inconstante, Contínuo-Descontínuo e está relacionado com a estrutura temporal do sinal. O terceiro factor é, na sua maior parte, representado pelas escalas Escuro-Claro e Duro-Suave

e compreende essencialmente aspectos relacionados com a intensidade do sinal. Finalmente, o quarto factor agrega as escalas Agudo-Grave e Abafado-Estridente e foi designado neste trabalho como Timbre.

A separação dos sons em sons de tráfego rodoviário, sons de passagens de veículos e sons de tráfego ferroviário e aéreo permitiu a identificação de diferentes estruturas relativamente à estrutura obtida para o ruído de tráfego rodoviário. Desta análise, emergem os resultados obtidos para os sons relativos à passagens de veículos, que sugerem uma estrutura de avaliação distinta. Estes sons são na generalidade avaliados como mais irregulares, mais inconstantes, mais instáveis, tendo-se verificado a existência de um factor adicional, que se designou neste trabalho por variação. Este facto sugere um modo distinto de avaliação entre sons com uma estrutura mais contínua (do tipo ruído de fundo) e sons que emergem do ruído de fundo, como eventos acústicos isolados. Efectivamente, esta situação foi reportada nas entrevistas semi-estruturadas realizadas, em que se realçou a incomodidade induzida pela circulação de motociclos a grande velocidade durante a noite e por sinais sonoros associados à circulação de ambulâncias em marcha de emergência, registos sonoros que emergem do ruído de fundo associado à circulação rodoviária.

O som correspondente à passagem de um avião obteve uma estrutura factorial distinta das anteriores, em que foram extraídas no total 6 componentes principais (v. Tabela 6.5). Para a maioria dos inquiridos, a percepção deste som é qualificada como desagradável, forte e incomodativa. Na análise de componentes principais, verificou-se que todos estes adjectivos foram incluídos no factor apreciação qualitativa (análise para os 12 sons em conjunto, v. Tabela 6.2).

No que respeita à associação entre os parâmetros físicos e os dados de percepção, verificou-se que para o factor apreciação qualitativa se observa um maior número de associações significativas e de natureza forte, principalmente com os parâmetros *sensação de intensidade auditiva* (e respectivos percentis) e nível sonoro contínuo equivalente ponderado A (e, nalguns casos, ponderado C), facto que salienta a importância da avaliação da intensidade do estímulo sonoro em apreciação.

Numa segunda fase, foi elaborado um inquérito para a avaliação da percepção dos indivíduos relativamente a medidas de minimização de ruído. Os participantes neste inquérito residiam próximo da Via de Cintura Interna, no Porto, nos 6 locais caracterizados

no Capítulo 4. O ambiente sonoro nestes locais é essencialmente devido ao tráfego rodoviário, em que são dominantes as componentes de baixa frequência (até 200 Hz), numa gama de variação que se estende essencialmente até aos 4000 Hz. Esta forte componente de baixa frequência também é salientada no espectro de *sensação de intensidade auditiva*, por banda crítica.

A estrutura deste segundo inquérito foi construída tendo como base a análise de conteúdo efectuada nas entrevistas semi-estruturas e os resultados obtidos no inquérito de avaliação da estrutura cognitiva dos indivíduos face as fontes sonoras presentes do ruído de tráfego em zonas urbanas, a recolha bibliográfica efectuada sobre a incomodidade induzida ao ruído, e o processamento dos registos áudio recolhidos nas diversas visitas de campo efectuadas. Este inquérito foi dividido em duas partes.

Na primeira parte, foi preenchido um questionário, constituído essencialmente por questões que abordavam a identificação do tipo de exposição ao ruído a que o entrevistado estava sujeito e que foram completadas por medições dos níveis sonoros no interior e no exterior das residências. Também foram integradas questões referentes à sensibilidade ao ruído, à incomodidade induzida pelo ruído e à apreciação das diversas fontes presentes na zona em estudo. Nesta parte, foram também incluídas questões referentes ao contexto social em que o entrevistado se encontrava inserido e a estratégias para lidar com os efeitos adversos induzidos por valores elevados dos níveis sonoros (estratégias de *coping*). Como resultado, é de salientar o facto de os inquiridos se sentiram em média mais incomodados durante o período diurno, mesmo não permanecendo nas suas residências durante todo o dia. Eventualmente, este facto só poderá ser compreendido tendo em conta o tipo de inquiridos contactos, em virtude da sua longa habituação ao ruído do tráfego rodoviário (praticamente todos residiam próximo da VCI há mais de uma década).

A segunda parte consistiu na realização de testes psicoacústicos relativos às medidas de minimização. Para as afirmações relativas as expectativas para a eficácia na atenuação do ruído das barreiras acústicas, designadamente, a introdução de uma melhoria da qualidade de vida em consequência da construção de uma barreira acústica próximo das suas residências, verificou-se que a maior parte dos inquiridos concorda com esta afirmação, principalmente aqueles que apresentam um valor médio de incomodidade mais elevado, durante o dia, v. Figura 6.99). No entanto, no caso da afirmação “A introdução de uma barreira acústica vai eliminar o ruído de tráfego rodoviário na minha residência” (v. Figura 6.100), notou-se a existência de dois grandes grupos de respostas opostas associadas a

indivíduos com um valor médio de incomodidade ao ruído elevado, principalmente durante o período diurno. Estes resultados sugerem a importância da apresentação ao público de informação sobre as medidas de minimização de ruído e correspondente integração da percepção aquando da selecção do tipo de medida de minimização. Efectivamente, os concessionários de uma determinada infra-estrutura podem tirar partido da tecnologia informática para a apresentação de informação ao público (incluindo, por exemplo, registos sonoros), quantificar a percepção e obter informação sobre o aspecto visual da barreira acústica mais favorável.

Na segunda parte do inquérito relativo às medidas de minimização de ruído, foi apresentado um conjunto de sons associados a diferentes medidas, que resultaram de um processo de selecção e processamento dos diversos registos áudio recolhidos. Refira-se a grande dificuldade sentida para a angariação de voluntários para participação neste inquérito, estando em grande medida dependente da disponibilidade das próprias pessoas (o inquérito demorava cerca de 45 minutos) e da sensibilidade de muitos gestores de condomínio à problemática do ruído. É também de referir a dificuldade sentida por alguns participantes na audição de todos os sons e, principalmente, o cansaço aparente na fase terminal da audição dos registos áudio.

No que respeita às barreiras acústicas, quando foi solicitada uma ordenação segundo o grau de eficácia visual que atribuíram a cada uma das barreiras, os inquiridos classificaram como mais eficaz a barreira em acrílico (fotografia 3), em segundo lugar a barreira mista (painéis transparentes e metálicos, fotografia 4), depois a barreira de painéis metálicos (fotografia 2) e, em último lugar, a barreira “verde” (fotografia 1). Quando questionados sobre a agradabilidade estética de cada barreira acústica, a ordenação somente diferiu na classificação das barreiras das fotografias 1 e 2, em que existiu uma troca, preferindo os inquiridos a barreira “verde” (fotografia 1) relativamente à barreira da fotografia 2. Embora as barreiras acústicas sejam uma das medidas de minimização de ruído mais importantes e significativas, o impacte visual associado a estes dispositivos afecta a percepção estética, quer dos utilizadores das rodovias quer dos residentes nas proximidades do local onde estes dispositivos são implantados. Efectivamente, a construção de barreiras acústicas com uma altura considerável próximo de residências, para além de criar sombreamento, produz uma intrusão visual na paisagem. Os resultados das respostas anteriores, em que se constatou a preferência por barreiras acústicas que integram painéis transparentes, permitem valorizar a importância da introdução deste tipo de materiais. Este facto é

reforçado com as respostas dos participantes, quando se apresenta conjuntamente com cada fotografia o registo áudio correspondente (duração aproximada de 60 segundos). Neste caso, a barreira da fotografia 4 (barreira mista) é considerada como a mais eficaz, seguindo-se as barreiras da fotografia 3 e da fotografia 1 e, finalmente, a da fotografia 2. Estes resultados sugerem a importância da avaliação da percepção dos indivíduos, e dos conceitos pré-existentes sobre a capacidade de atenuação do ruído dos diversos tipos de materiais que constituem as barreiras acústicas, durante a fase de selecção das medidas de minimização de ruído a implementar num determinado local.

Relativamente aos testes psicoacústicos referentes à passagem de um veículo ligeiro em diferentes tipos de pavimentos, constatou-se que os inquiridos conseguem perceber diferenças entre os respectivos registos áudio. Nestes testes, verificou-se uma preferência relativamente ao registo áudio associado à passagem do veículo num pavimento de betão betuminoso em microbetão e, em segundo lugar, o registo áudio associado à passagem do veículo ligeiro num pavimento em betão betuminoso drenante. No que respeita à velocidade de circulação, verifica-se uma preferência pela utilização de velocidades de circulação mais baixas.

Em relação à associação entre os parâmetros físicos e os dados de percepção, para os registos áudio gravados por detrás das barreiras acústicas, verificou-se uma grande concordância entre a ordenação subjectiva atribuída pelos inquiridos e os valores do percentil de 5% da *sensação de intensidade auditiva*, a par com os valores do nível sonoro ponderado A. Para sons associados à passagem de um veículo ligeiro em diferentes tipos de pavimentos, nota-se que a maior concordância se verificou para o valor máximo da *sensação de intensidade auditiva*.

7.2 Aspectos conclusivos

Para a gestão e redução das emissões sonoras e respectiva exposição das populações, podem ser utilizadas diferentes medidas de minimização de ruído, designadamente: no âmbito de medidas para a redução do ruído na fonte, no âmbito de medidas para a redução da propagação do ruído o mais próximo possível da fonte, de modo a proteger um maior número de pessoas, e no âmbito das medidas de minimização do ruído no receptor. Relativamente a aspectos de emissão sonora da fonte, pela análise dos inquéritos

efectuados, constatou-se a importância da existência de ruídos emergentes do ruído de tráfego rodoviário no aumento da sensação de incomodidade induzida pelo ruído, como, por exemplo, os sinais sonoros emitidos pelas buzinas de veículos, sirenes ou a passagem de veículos com escapes não sujeitos a manutenção. Este aspecto sugere que o recurso a boas práticas de condução poderá ter efeito na diminuição da incomodidade dos residentes próximos de uma via rodoviária. No caso-de-estudo seleccionado, existiam locais (zona da cooperativa da Prelada) onde anteriormente tinha sido colocado um pavimento poroso drenante. Nas entrevistas efectuadas, verificou-se uma modificação da percepção do ruído pelos residentes, existindo uma melhoria considerável do ambiente sonoro. Igualmente no mesmo local, procedeu-se à instalação de dispositivos de controlo de velocidade, mediante radar. Muitos dos inquiridos apreciaram este tipo de medida, pois constataram indirectamente uma ligeira diminuição dos níveis sonoros, em virtude da menor quantidade de acidentes rodoviários e, principalmente, de todo o tipo de ruído que lhe está associado.

No âmbito das medidas para a redução da propagação de ruído, o aspecto mais importante referente à eficácia de uma barreira acústica não diz respeito à atenuação sonora que este dispositivo confere, mas sim à opinião subjectiva dos indivíduos que a barreira acústica pretende proteger. O resultado final pode ser influenciado por vários factores, nos quais se pode incluir a participação pública no seu dimensionamento e aparência, o recurso a práticas sustentáveis na sua construção e manutenção e a utilização de profissionais de diferentes áreas, para que as diferentes fases possam ser compreendidas pelo público-alvo, de modo a evitar-se a rejeição da implementação deste tipo de dispositivos. Algumas experiências realizadas permitiram revelar que a obstrução visual provocada por uma barreira pode afectar dramaticamente a percepção do som que por ela é transmitido. Para o desenho e implantação de uma barreira acústica, uma abordagem do ponto de vista da sustentabilidade integra uma actuação multidisciplinar, que se estende das áreas do ambiente e sustentabilidade à área sócio-económica.

Os dois aspectos anteriormente referenciados permitem concluir que o planeamento mais eficaz das soluções de minimização de ruído está também dependente da avaliação da percepção do ruído e da avaliação dos conceitos pré-estabelecidos associados às respectivas medidas de minimização por parte do público para o qual estas medidas pretendem minimizar o ruído. A integração da afectação pública no processo de planeamento deste tipo de medidas é o único meio pelo qual se pode construir uma

minimização de ruído mais apropriada, quer do âmbito objectivo (redução efectiva do nível sonora) quer do âmbito subjectivo (percepção dos indivíduos).

No âmbito das medidas de minimização de ruído no receptor, designadamente o reforço do isolamento sonoro de fachadas e a introdução de janelas duplas, com vidro duplo, constatou-se que este tipo de medida é considerada satisfatória e eficaz. No entanto, e como estes tipos de medidas não reduzem o ruído ambiente no exterior, muitos inquiridos reportaram alguma insatisfação decorrente do facto de não ser possível abrir as janelas por causa do ruído de tráfego rodoviário, principalmente durante o Verão.

A utilização de recursos informáticos, tal como foi efectuado no inquérito para a avaliação da percepção das medidas de minimização de ruído, com a apresentação de sons por meio de auscultadores e correspondente visualização, caso necessário, pode constituir uma importante ferramenta para a sensibilização, disseminação de informação e avaliação da percepção relativamente às medidas de minimização, no âmbito da participação pública nos estudos de impacte ambiental. O processo assim estabelecido poderá também contribuir para uma aceitação mais generalizada das medidas a implementar.

Relativamente à associação entre os parâmetros físicos e psicoacústicos e os dados referentes à percepção dos indivíduos, é de salientar a importância do descritor *sensação de intensidade auditiva* e do correspondente percentil de 5% para a avaliação do ruído de tráfego.

7.3 Perspectivas de desenvolvimento futuro

No seguimento deste trabalho, pretende-se dar continuidade à aplicação da metodologia de avaliação desenvolvida a outros conjuntos de medidas de minimização de ruído, designadamente outras soluções de pavimentação, modelos de veículos, etc. Um outro aspecto a desenvolver é a organização dos registos áudio, não em termos de passagem de um veículo, mas sim em termos de tipo de composição do fluxo de tráfego.

Um segundo aspecto a considerar será a realização de novos inquéritos, no mesmo local, caso sejam instaladas as medidas de minimização de ruído preconizadas no

estudo de impacte ambiental. A sua concretização permitirá a elaboração de um estudo comparativo sobre a percepção do ambiente sonoro, antes e depois da implementação de medidas de minimização de ruído. Bem como aferir da eficácia e percepção dos inquiridos proporcionada pelas medidas de minimização.

O terceiro aspecto a considerar é a inserção deste tipo de metodologia (inquérito sócio-acústico, na informação decorrente de um estudo de impacte ambiental, sugerindo-se o seguinte faseamento:

1ª Etapa: Definição dos requisitos do projecto e do ambiente sonoro associado. Durante esta fase, é necessária a definição do uso do solo existente e futura na vizinhança do projecto, a identificação e caracterização das principais fontes sonoras durante a construção e exploração e o impacto sonoro associado e os receptores sensíveis.

2ª Etapa:

- a) Elaboração de mapas de exposição sonora e identificação da significância dos impactes associados ao ruído do projecto. Identificação da população exposta e listagem de potenciais medidas de minimização de ruído a estabelecer (por exemplo, a partir de um estudo de análise custo-benefício);
- b) Recolha multidisciplinar de informação relativa a aspectos culturais, sociais e de integração paisagista dos locais expostos;
- c) Realização de entrevistas semi-estruturadas para avaliação da percepção ao ruído e de pré-concepções relativas a medidas de minimização, tendo em conta os locais e as populações mais expostas ao ruído, que possam ter sido identificadas nos mapas de exposição sonora.

3ª Etapa:

- a) Avaliação da significância de cada impacte e identificação das medidas de minimização mais adequadas;
- b) Realização de um questionário psicoacústico, com a apresentação de registos áudio relativos às medidas de minimização, tendo como base os resultados das entrevistas semi-estruturadas. A apresentação dos registos áudio deve ter em consideração os níveis sonoros associados ao projecto. Neste caso, sugere-se uma ligeira alteração na metodologia utilizada, com apresentação dos sons numa gama de variação de 5 dB(A);
- c) Definição das medidas de minimização mais efectivas baseadas nos requisitos do projecto e na percepção do público alvo, para o qual as medidas serão estabelecidas.

4^a Etapa:

Apresentação pública das medidas de minimização preconizadas e respectiva redução dos níveis sonoros associados à sua implementação.

Finalmente, refira-se a possibilidade de utilização de um inquérito sócio-acústico com apresentação conjunta de sons e imagens, destinado a apoiar o desenvolvimento de barreiras acústicas com uma aparência visual inovadora, e aferição da respectiva eficácia.

- AFNOR XP S31-131, 1996 Association Francaise de Normalization – XP S31-131 Acoustique : Prévision du bruit des transports terrestres - Descriptif technique des logiciels, AFNOR, France, 1996.
- Amphoux, 1991 Amphoux, P. – Aux écoutes de la ville: La qualité sonore des espaces publics européens, 94,  cole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 1992.
- Andersen *et al.*, 2005 Andersen, B.; Kragh, J.; Bendtsen, H., 2005 – Acoustic performance of low noise road pavements, SILVIA Project Report SILVIA-DRI-010-02-WP4-290605, 2005.
- Anfosso-Ledee *et al.*, 2005 Anfosso-Ledee, F.; Habert, J.; Watts, G., 2005 – Silvia WP 5. Combination of low noise road surfaces with road and building equipments, SILVIA Project Report SILVIALCPC_TUW-009-02-WP5-020205, 2005.
- Aylor e Marks, 1976 Aylor, J.F.; Marks, L.E. – Perception of noise transmitted through barriers. Journal of the Acoustical Society of America, 1976, 59 (2), 397-400.
- Arnevik, 1999 Arnevik, A., 1999 – Poroelastic surfaces-Summary of Norwegian experiences, Workshop on poroelastic Road Surfaces, Stockholm, 1999.
- Augoyard e Torque, 1995 Augoyard, J.F.; Torgue, H. – A l' coute de l'environnement. R pertoire des effets sonores. Editions Parenth ses, Marseille, 1995.
- Babisch, 2006 Babisch, W. – Transportation noise and cardiovascular risk. Review and synthesis of epidemiological studies, Federal Environmental Agency, Berlin, 2006.
- Berglund e Lindvall, 1995 Berglund, B.; Lindvall, T. – Community noise. World Health Organization, 1995.
- Berglund e Preis, 1997 Berglund, B.; Preis, A. – Is perceived annoyance more subject-dependent than perceived loudness? Acta Acustica, 83 (2), 313-319, 1997.
- Berglund *et al.*, 1981 Berglund, B.; Berglund, U.; Goldstein, M.; Lindvall, T. – Loudness (or annoyance) summation of combined community noise. Journal of the Acoustical Society of America, 70 (6), 1628-1634, 1981.
- Berglund *et al.*, 1987 Berglund, B.; Berglund, U.; Lindberg, S. – Loudness of community noise: Assessment, Calibration and Calculation. In Proceedings of Internoise 1987, Beijing, 1987.
- Berglund *et al.*, 2000 Berglund, B.; Lindvall, T.; Schwela, D. – Guidelines for community noise. World Health Organization, Geneva, Sui a, 2000.
- Bismarck, 1974 Bismarck, G. – Sharpness as an attribute of the timbre of steady sounds. Acustica, 30 (2), 159-172, 1974.
- Bendtsen *et al.*, 2002 Bendtsen, H.; Carsten, B.; Macdonald, R., – Clogging of porous bituminous Surfacing - an investigation in Copenhagen, Report 120, , Danish Road Institute, 2002.
- Bisping, 2006 Bisping, R. – Psycometric analysis of vehicle pass-by noise. In proceedings

- Euronoise 2006, Tempere, Filandia, 2006.
- Bisping, 2007 Bisping, R. – Psychoacoustic predictive modelling of traffic sound, In proceedings do 19 ° Congresso Internacional de Acústica (ICA), Madrid, Espanha, 2007..
- Blaeurt, 1997 Blauert, J. – Spatial Hearing, The psychoacoustics of human sound localization. Massachusetts Institute of Technology, 1997
- Bodden, 1997 Bodden, M. – Instrumentation for Sound Quality Evaluation, Acta Acustica, 83 (5), 775-783, 1997
- Bochove, 1998 Bochove, G., 1998 – Twin-lay, a new concept of drainage asphalt concrete, In proceedings of Euronoise 1998, Munchen, Germany, 1998.
- Botteldooren *et al.*, Botteldooren, D.; Coensel, B.; Muer, T. – The temporal structure of urban soundscapes. Journal of Sound and Vibration, 292, 105-123, 2005.
- Boubezari e Boubezari, M.; Bento Coelho, J. L. – Masking Method for Qualitative sound.
- Coelho, 2005a In proceedings of Twelfth International Congress on Sound and Vibration, Lisboa, Portugal, 2005..
- Cardoso, 2008 Cardoso, J. – Influência das características superficiais dos pavimentos sobre a segurança rodoviária. Resultados de estudos de observação. In proceedings do V Congresso Rodoviário Português, Estoril, 2008.
- Carles *et al.*, Carles, J.; Lopez Barrio, I.; Vicente de Lúcio, L. – Sound influence on
- 1999 landscape values. Landscape and urban planning, 43, 191-200, 1999.
- Carvalho e Carvalho, A.; Rocha, C. – Manual Técnico para Elaboração de Planos
- Rocha, 2008 Municipais de Redução de Ruído. Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa. 2008.
- CCE, 2004 Comissão das Comunidades Europeias – Para uma estratégia temática sobre ambiente urbano, COM (2004) 60, Bruxelas, 2004.
- CEN, 1997 EN 1793-3:1997, Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance - Part 3: Normalized traffic noise spectrum, European Committee for Standardization, Brussels (1997).
- CETUR, 1980 CETUR – Guide du bruit et des transports terrestres, Ministère de l'environnement et du cadre de vie, Paris, França, 1980.
- CETUR *et al.*, CETUR; SETRA; LCPC; CSTB – NMPB Routes 96, Bruit dès infrastructures
- 1980 routières, method de calcul incluant les effets météorologiques, CERTU/SETRA/LCPC/CSTB, 1997.
- Clark *et al.*, Clark, C.; Martin, R.; Kempen, E.; Alfred, T.; Head, J.; Davies, H.; Haines, M;
- 2006 Barrio, I; Matheson, M; Stansfeld, S. – Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the RANCH project. American Journal of Epidemiology, 163 (1), 27-37, 2006.
- Coba, 2007a IC23-VCI. Estudo Prévio Medidas de minimização acústica e de integração

- paisagística. Volume I, Fevereiro de 2007.
- Coba, 2007b IC23-VCI. Estudo Prévio Medidas de minimização acústica e de integração paisagística. Volume II, Fevereiro de 2007.
- Coesel *et al*, 2005a Coensel, B.; Botteldooren, D.; De Muer, T.; Lercher, P.; Berglund, B.; Nilsson, M. – Observation on the influence of non-acoustical factors on perceived noise annoyance in a field experiment. In Proceedings of Internoise 2005, Rio de Janeiro, 2005.
- Coesel *et al*, 2005b Coensel, B.; De Muer, T.; Yeperman, I.; Botteldooren, D. – The influence of traffic flow dynamics on urban soundscapes, Applied Acoustics, 66, 175-194, 2005.
- Cohen *et al*, 1973 Cohen, S.; Glass, D.; Singer, J. Apartment noise, auditory discrimination, and reading ability in children. Journal of Experimental Social Psychology, 9, 407-422, 1973.
- Coiuc e Deletre, 1999 Coiuc, M.; Deletre, J. – An intersensory approach to urban analysis and design. Acustica-Acta Acustica, vol 85, supl. 1: S355, 1999.
- Daigle, G., 1999 Technical assessment of the effectiveness of noise walls – Final Report. Noise/News International, I-INCE Publication 99-1, 137-161. Disponível em: <http://www.i-ince.org>
- Defréville, 2005 Defréville, B. – Caractérisation de la qualité sonore de l'environnement urbain: une approche physique et perceptive basée sur l'identification des sources sonores, Tese de doutoramento, Université de Cergy-Pontoise, 2005.
- Delsey *et al*, 1989 Delsey, J.; Filippi, P.; Mattei, P.O. – Impact des basses fréquences et vibrations sur les riverains des voies routières. Rapport technique, INRETS, 1989.
- Descornet *et al*, 2000 Descornet, G.; Faure, B.; Hammet, J.; Kestmont, X.; Quaresma, L.; Sandulli, D. – Traffic noise and road surfaces: State of art, Belgium Road Research Centre, Brussels, 2000.
- Descornet e Goubert, 2006 Descornet, G.; Goubert, L. – Noise Classification of Road Pavements, Task 1: technical background information 1, Draft Report 05. Directorate-General Environment, European Commission, 2006.
- Dubois e David, 1999 Dubois, D.; David, S. – A cognitive approach of urban soundscapes, Journal of the Acoustical Society of America, 105, 1281, 1999.
- Dutilleux *et al*, 2008 Dutilleux, G.; Defrance, J.; Gauvreau, B.; Besnard, F. – The revision of the French method for road traffic noise prediction, In proceedings Acoustics 08, Paris, 2008.
- Ellermeier *et al*, 2001 Ellermeier, W.; Eigenstetter, M.; Zimmer, K. – Psychoacoustic correlates of individual noise sensitivity. Journal of acoustic society of América, 109, 1464-1473, 2001.

- English e Kotzen, 1999 English, C.; Kotzen, B.– Environmental noise barriers, E&Spon, Londres, 1ª edição, 1999.
- Enmarker *et al.*, 1998 Enmarker, I.; Boman, E.; Hygge, S. – The effects of noise on memory. In Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Australia, 1998.
- EPD, 2003 Environmental Protection Department – Guidelines on Design of Noise Barriers, Environmental Protection Department, Hong Kong, 2003.
- Encarta, 2005 Enciclopédia Microsoft Encarta 2005.
- EU, 2002 European Commission – Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, European Commission, Luxembourg, 2002.
- Fahy e Walker, 2004 Fahy, F.; Walker, J. – Advanced Applications in Acoustics, Noise and Vibration, 1ª edição, 2004.
- Fastl *et al.*, 2007 Fastl, H.; Patsouras, C.; Bayer, S.; Beckenbauer, T. – Psychoacoustic evaluation of sound absorbing road surfaces. ICA, Madrid, 2007
- Fastl, 1998 Fastl, H. – Psychoacoustics and sound quality metrics, Sound Quality Symposium, Michigan, 1998
- Fastl, 2007 Fastl, H. – Psychoacoustics, sound quality and music, Internoise 2007, Istanbul, 2007.
- Favre *et al.*, 1982 Favre, B.; Bonnardel, G.; Blanchet, V. – Vibrations et basses fréquences acoustiques à proximité des voies routières: éléments descriptifs de la gêne exprimée par les riverains. Rapport technique, Rapport INRETS/IRT, 1982.
- Fleming *et al.*, 2000 Fleming, G.; Knauer, H.; Lee, C.; Pedersen, S., 2000 – FHWA Highway noise barrier design handbook, Federal Highway Administration, EUA, 2000 (acessível: www.fhwa.dot.gov/environment/noise/design/index.htm).
- Fields *et al.*, 2001 Fields, J.M.; Jong, R.G.; Gjestland, T.; Flindell, I.H.; Job, S.; Kurra, S.; Lercher, P.; Vallet, M.; Yano, T.; Guski, R.; Felscher-Suhr, U.; Schumer, R. – Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation. Journal of Sound and Vibration, 242 (4), 41-679, 2001
- Genuit e Fiebig, 2006 Genuit, G.; Fiebig, A. – Psychoacoustics and its benefit for the soundscape approach, Acta Acustica, 92 (1), 1-77, 2006
- Genuit *et al.*, 2007 Genuit, Klaus; Guidati, S.; Rossberg, S. – Psychoacoustical evaluation of traffic noise. In proceedings of 19th International Congress of Acoustics, ICA, Madrid, 2007.
- Ghiglione e Matalon, 2005 Ghiglione, R.; Matalon, B. – O inquérito. Teoria e prática. Celta editora, Oeiras, 2005.
- Glasberg *et* Glasberg, B.; Moore B. – A model of loudness applicable to time-varying

- Moore, 2002 sounds. Journal of the Audio Engineering Society, 2002, 50 (5), 331–342, 2002.
- Gibbs *et al.*, 2005 Gibbs, D.; Iwasaki,R.; Bernhard,R.; Bledsoe,J.; Carlson, D.; Corbisier, C.; Fults, K.,2005 – Quiet pavement systems in europe, Federal Highway Administration, EUA, 2005.
- Gracia, 2001 Garcia, A. - Environmental Urban Noise. Wit Press, Southampton, 2001.
- Guastavino, 2003 Guastavino, G. – Étude sémantique et acoustique de la perception des basses fréquences dans l'environnement sonore urbain. Tese de Doutoramento, Universidade de Paris 6, 2003.
- Guillén e López, 2007a Guillén, J.; Barrio, Isabel – The soundscape experience. In proceedings of 19th International Congress of Acoustics, ICA , Madrid, 2007.
- Guillén e López, 2007b Guillén, J.; Barrio, Isabel – Importance of personal, attitudinal and contextual variables in the assessment of pleasantness of urban sound environment. In proceedings of 19th International Congress of Acoustics, ICA , Madrid, 2007
- Guski, 1997 Guski, R. – Psychological methods for evaluating sound quality and assessing acoustic information, Acta Acustica, vol 83 (5), 765-774, 1997.
- Hartmann,1997 Hartmann, W. – Signals, Sound, and Sensation, Springer- Verlag, New York, 1997..
- Henrique, 2007 Henrique, L. – Acústica musical, 2ªedição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2007
- Impacte Sonoro, 2004 Impacte Sonoro – IC23: Via de Cintura Interna do Porto. Projecto de execução. Tomo I- Projecto de Barreiras Acústicas, Junho de 2005.
- ISO 131, 1979 International Organization for Standardization – Acoustics: Expression of physical and subjective magnitudes of sound or noises sources in air. ISO 131, Switzerland, 1979.
- ISO 226, 2003 International Organization for Standardization – Acoustics: Normal equal-loudness-level contours, ISO 226, Switzerland, 2003.
- ISO 532, 1975 International Organization for Standardization – Acoustics: Method for calculating loudness level, ISO 532, Switzerland, 1975.
- ISO/TS 15666, 2003 International Organization for Standardization – Acoustics: Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustics surveys, ISO/TS 15666, Switzerland, 2003.
- ISO 9613-2, 1996 International Organization for Standardization – Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 2: General method of calculation, ISO 9613-2, Switzerland, 1996.
- ISO 10847, 1997 International Organization for Standardization – Acoustics: In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types. ISO 10847, Switzerland, 1997.

ISO 11819-1, 1997	International Organization for Standardization – Acoustics: Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 1: Statistical Pass-By Method. ISO 11819-1, Switzerland, 1997.
ISO/CD 11819- 2, 2000	International Organization for Standardization – Acoustics: Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on traffic noise – Part 2: The Close Proximity Method. Draft Standard, ISO 11819-2, Switzerland, 2000.
ISO 1996-1, 2003	International Organization for Standardization – Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures, ISO 1996-1, Switzerland, 1997
ISO 1996-2, 2007	International Organization for Standardization – Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels, ISO 1996-2, Switzerland, 2007.
IEC 61672- 1, 2002	International Electrotechnical Commission – Electroacoustics: Sound level meters. Part 1: Specifications, IEC, Switzerland, 2002.
Job, 1988	Job, R. – Community response to noise: a review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction, Journal of the Acoustical Society of America, 83 (3), 991-1001, 1988.
Johannsen e Prante, 2001	Johannsen, K.; Prante, H. – Environmental sounds for psychoacoustic testing, Acta Acustica, 87 (2), 290-293, 2001.
Jonasson e Storeheier, 2001	Jonasson, H.; Storeheier, S. – Nord 2000. New Nordic Prediction method for road traffic noise. SP Report 10, Boras, 2001.
Joynt e Kang, 2003	Joynt, J.; Kang, J. – The use of public participation and noise mapping in the design of environmental noise barriers, In proceedings of Euronoise 2003, Naples, 2003.
Joynt e Kang, 2003	Joynt, J.; Kang, J. – A customised lifecycle assessment model for noise barrier design, In proceedings of Institute of Acoustics, 2006.
Joynt e Kang, 2010	Joynt, J.; Kang, J. – The influence of preconceptions on perceived sound reduction by environmental noise barriers, Science of the Total Environment, 408 4368–4375, 2010.
Kang, 2000	Kang, J. – Sound propagation in street canyons: Comparison between diffusely and geometrically reflecting boundaries. Journal of the Acoustical Society of America, 107(3), 1394–1404, 2000.
Kang, 2002	Kang, J. – Acoustics of Long Spaces. Theory and design practice. Thomas Telford Publishing, London, 2002.
Kang, 2007	Kang, J. – Urban sound environment. Taylor & Francis, Londres, 1º edição, 2007.
Katz, 2004	Katz, J. – Handbook of Clinical Audiology. Williams & Willikings, 4ª edição,

- Baltimore, 1994.
- Keulen, 2007 Keulen, W. – Psychoacoustic and silent roads: an interesting combination, In proceedings Internoise 2007, Istambul, 2007.
- Klæboe, 2005 Klæboe, R.; Kolbenstvedt, M.; Fyhri, A.; Solberg, S. –The Impact of an Adverse Neighbourhood Soundscape on Road Traffic Noise Annoyance, *Acta Acustica*, Vol. 91 (6), 2005.
- Klæboe et al., 2004 Klæboe, R.; Amundsen, A.; Fyhri, A.; Solberg, S. – Road traffic noise: the relationship between noise exposure and noise annoyance in Norway". *Applied Acoustics*, 65 (9), 893–912, 2004.
- Klingner et al, 2003 Klingner, R.; McNerney, M.; Busch-Vishniac, I. – Design Guide for Highway noise barriers, University of Texas at Austin, Research Report 0-1471-4, Austin, 2003.
- Kotzen e English, 1998 Kotzen, B.; English, C. – Environmental Noise Barriers: A Guide to their Acoustic and Visual Design, E & FN Spon, London, 1998
- Kuipers e Blokland, 2001 Kuipers, A.; Blokland, G. – Tyre/road noise models in the last two decades: a critical evaluation. In *Proceedings of Internoise 2001*, Hague, 2001.
- Kuwano e Namba, 2001 Kuwano, S.; Namba, S. – Dimensions of sound quality and their measurement. In *Proceedings of the 17th International Congress on Acoustics (ICA)*, Roma, Italia, 2001.
- Kuwano et al., 1998 Kuwano, S.; Namba, S.; Fastl, H. – On the judgment of loudness, noisiness and annoyance with actual and artificial noises. *Journal of Sound and Vibration*, 127(3), 457–465, 1998.
- Kuwano e Namba, 1985 Kuwano, S.; Namba, S. – Continuous judgment of level-fluctuating sounds and the relationship between overall loudness and instantaneous loudness, *Psychological Research*, 47, 27-37, 1985.
- Laux, 1998 Laux, P. C. – Using artificial neural networks to model the human annoyance to sound. Tese do doutoramento, Universidade de Purdue, Purdue, 1998.
- Li et al., 1991 Li, X.; Logan, R.; Pastore, R. - Perception of acoustics source characteristics: Walking sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 90(6): 3036–3049, 1991.
- Litzka, 2002 Litzka, J., 2002 – Austrian experiences with winter maintenance on porous asphalt, ISAP 2002, Copenhagen 2002.
- Lindvall e Radford, 1973 Lindvall, T.; Radford, T. – Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors. *Environmental Research*, 6, 1-36, 1973.
- López e Carles, 1995 López, B.; Carles, J. – Acoustic Dimensions of Inhabited Areas: Quality Criteria, *The Soundscape Newsletter*, World Forum for Acoustic Ecology, 10,

- 6-8, , Austrália, 1995.
- Maffiolo *et al.*, 1997 Maffiolo, V.; David, S.; Dubois, D.; Vogel, C.; Castellengo, M.; Polack, J. – Sound characterization of urban environment. In proceedings of Internoise 1997, Budapeste, 1997.
- Maffiolo, 1999 Maffiolo, V. — De la caracterisation sémantique et acoustique de la qualité sonore de l'environnement sonore urbain (semantic and acoustic approaches to sound quality of urban environments). Tese de doutoramento da Universidade do Maine, Le Mans, 1999.
- Miedema *et al.*, 2001 Miedema, H.; Oudshoorn, C. – Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives*, 109, (4): 409-415, 2001.
- Miedema, 2007 Miedema, H. – Exposure-response relationships for environmental noise. In proceedings of Internoise 2007, Istanbul, 2007.
- Moore e Glasberg, 1996 Moore, J.; Glasberg, B. — A revision of Zwicker's loudness model: *Acta Acustica*, 82 (2) 335-345, 1996.
- Muer *et al.* , 2005 Muer, T.; Botteldooren, D.; Lercher, P. — Event based noise annoyance modelling. In Proceedings of Forum Acusticum 2005, Budapest, 2005.
- Nasar, 1983 Nasar, J. – Adult viewers' preferences in residential scenes, *Environment and Behavior*, 15 (5), 589-614, 1983.
- Nilson e Berglund, 2006 Nilsson, M.; Berglund, B. (2006). Noise annoyance and activity disturbance before and after erection of a roadside barrier. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119 (4), 2178-2188, 2006.
- Nota *et al.*, 2005 Nota, R.; Barelds; R.; Maercke, D. – Harmonoise WP3. Engineering method for Road traffic and railway noise after validation and fine- tuning, Technical report HAR32TR-040922-DGMR20, 2005.
- Osgood, 1952 Osgood, C.E — The nature and measurement of meaning. *Psychological Bulletin*, 49(3), 197–237, 1952.
- Palma e Samagaio, 2006 Palma, M.J; Samagaio, A. — Acoustic performance of a noise barrier coated with an absorptive material. *Noise Control Eng. Journal*, 54 (4), 245-250, 2006.
- Patrício, 2006 Patrício, J. — *Acústica nos edifícios*, 3ª edição, Verlag Dashofer, 2006.
- Pedersen, 2006 Pedersen, T. – A model for noise annoyance. In proceedings of Eurnoise 2006, Finlândia, 2006
- Pedersen e Larsman, 2008 Pedersen, E.; Larsman, P. — The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines, *Journal of environmental Psychology*, 28, 379-389, 2008.

- Perdigão, 2008 Perdigão, F.— Modelos do Sistema Auditivo Periférico no Reconhecimento Automático de Fala", Universidade de Coimbra, Junho, 1998.
- Peyrard, 2001 Peyrard, D. —Utilisation combinée des revêtements de chaussée et des écrans antibruit, Journées d'Etude Bruit du Trafic Routier, Comité Français AIPCR / PIARC, Nantes, 2001.
- Picaut *et al*, 2005 Picault, J.; Polles,T.; Hermite, P.;Gary, V. – Experimental study of sound Propagation in a street. *Applied Acoustics*, 66(2),149–173, 2005.
- Picaut, 2002 Picaut, J. – Numerical modelling of urban sound fields by a diffusion *process*. *Applied Acoustics*, 63 (9), 965–991, 2002.
- Plovsing, 2006 Plovsing, B. – Nord 2000. Comprehensive outdoor sound propagation model. Part 2: Propagation in atmosphere with refraction, Delta Acoustics & Vibration report AV 1851/00, Lyngby, 2006.
- Poggi *et al*, 2000 Poggi, A.; Casini, D.; Fagotti, C.; Secchi, S., 2000 – Contribution of double layer asphalt in reduction of urban traffic noise, In proceedings of Internoise 2000, Nice, France, 2000.
- Porteus e Mastin, 1985 Porteus, J.; Mastin, J. – Soudscape, *Journal of architectural and planning research*, vol 2 (3), 169-186.
- Portugal, Leis, Decretos-Lei, 2000 Portugal. Leis, Decretos-Lei – Regime Legal da Poluição Sonora (RLPS). Decreto-Lei nº 292/00, de 14 de Novembro, 2000.
- Portugal. Leis, Decretos-Lei, 2008 Portugal. Leis, Decretos-Lei – Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (RRAE). Decreto-Lei nº 96/08, de 9 de Junho, 2008.
- Portugal. Leis, Decretos-Lei, 2006 Portugal. Leis, Decretos-Lei – Gestão e Avaliação do Ruído Ambiente. Decreto-Lei nº 146/06, de 31 de Julho, 2006.
- Prante, 2002 Prante, H. – Modelling judgements of environmental sounds by means of artificial networks, Tese de doutoramento, Universidade Técnica de Berlin, Berlin, 2002.
- Raimbault e Dubois, 2003 Raimbault,M.; Dubois, D. - Perceptual judgments about urban soundscapes. In proceedings Euronoise 2003, Nápoles, 2003.
- Raimbault *et al*, 2001 Raimbault, M.; Bérengier, M.; Dubois, D. – Common factors in the identification of urban soundscapes pilot study in two French cities: Lyon and Nantes. In proceedings do 17º Congresso Internacional de Acustica (ICA).
- Raimbault *et al*, 2005 Raimbault, M.; Lavandier, C.; Bérengier, M. – Ambient sound assessment of urban environments: field studies in two French cities. *Applied Acoustics*, 64 (12), 1241-1256, 2003.
- Reis, 1997 Reis, E. – Estatística Multivariada Aplicada, Edições Silabo, Lisboa, 1997

- Ripke *et al.*, 2005 Ripke, O.; Andersen, B.; Bendtsen, H.; Sandberg, U., 2005 – Report of promising new road surfaces for testing, SILENCE Project Report SILENCE_F.D4_180805, 2005.
- Rodriguez e Barrio, 2005 Rodriguez, J.; Barrio, I. — Influence of audio-visual interaction on urban sound environment. In Proceedings of Inter-noise 2005, Rio de Janeiro, 2005.
- Rossing, 2007 Rossing, T. — Springer Handbook of Acoustics. Springer, Stanford, EUA, 2007.
- Salomons e Noordhoek, 2002 Salomons, E.; Noordhoek, I. – Harmonoise WP2. Reference Model, Technical report HAR23TR-020222, TNO, 2002.
- Samagaio *et al.*, 2002 Samagaio, A.; Ferreira, J.M.F.; Labrincha, J.A.; Sobral, M. – Acoustic Characteristics of Bound Rubber Granulate and Leca”. In proceedings Inter-Noise 2002, USA, 2002.
- Sandberg e Ejsmont, 2002 Sandberg, U.; Ejsmont, J.– Tyre/ Road noise reference book, Informex Ejsmont & Sandberg Handelsbolag, Kisa, Sweden, 2002. .
- Sandberg *et al.*, 2005 Sandberg, U.; Kalman, B.; Nilsson, R., 2005 – Design guidelines for construction and maintenance of poroelastic road surfaces, SILVIA Project Report SILVIA-VTI-005-02- WP4-141005, 2005.
- Schafer, 1977 Schafer, R. M. – The tuning of the world. Alfred A. Knopf, New York, 1977.
- Schafer, 1994 Schafer, R. M. – The soundscape: Our sonic environmental and tuning of the world. Destiny Books. Rochester, USA, 1994.
- Schomer, 2000 Schomer, P. – Loudness level weighting for environmental noise assessment, Acta Acustica, vol 86 (1), 49-61, 2000.
- Schrekenberg, 1998 Schrekenberg, R.; Schuemer, B.; Griefahn, B.; Moehler, U. – Attitudes toward noise sources as determinants of annoyance. In proceedings Euronoise 1998, Munique, 1998.
- Schulte-Fortkamp e Lercher, 2003 Schulte-Fortkamp, B.; Lercher, P. – The importance of soundscape research for the assessment of noise annoyance at the level of the community. In Proceedings of TecniAcustica 2003, Bilbao, 2003.
- Schulte-Fortkamp, 2002 Schulte-Fortkamp, B. – Soundscapes and living spaces. Sociological and psychological aspects concerning acoustical environments. In proceedings of Forum Acusticum 2002, Sevilla, 2002.
- Semidor, 2005 Semidor, C. – Characterization of urban soundscape using psychoacoustic criteria. In proceedings of Internoise 2005, Rio de Janeiro, 2005.
- Shilton *et al.*, 2005 Shilton, S.; Leeuwen, H.; Nota, R. – Error propagation analysis of XPS 31-133 and CRTN to help develop a noise mapping data standard. In proceedings of Forum Acusticum 2005, 2005.

- Shilton, 2005 Shilton, S. – Data Accuracy Guidelines for XPS 31-133. Report HAL 3188.3/8/2. Defra, UK, 2005.
- Silva, 1975 Silva, P. – Ruído de tráfego rodoviário, Informação técnica Edifícios 7, LNEC, Lisboa, 1975.
- Silva, 1989 Silva, P. – Elementos de acústica musical, LNEC, Lisboa, 1989.
- Solomon, 1958 Solomon, L. – Semantic approach to the perception of complex sounds. Journal of the Acoustical Society of America, 30 (5), 421-425, 1958.
- Southworth, 1969 Southworth, M. – The sonic environment of the cities, Environment and Behaviour (1) ,49-70, 1969.
- Sucena, 2004 Sucena, S. – A via de cintura interna como elemento de estrutura urbana? Uma análise e comparação com a ronda de Dalft-Barcelona. Edições Universidade Fernando Pessoa. Porto, 2004
- Susini *et al.*, 1998 Susini, P.; Misdariis, N. ; McAdams, S.; Winsberg, S. – Caractérisation perceptive de bruits. Acoustique et Techniques, 13(4), 11–15, 1998
- Susini, 2000 Susini, P. – Perception évolutive et globale de sons stationnaires. Tese de doutoramento, Universidade du Maine, Le Mans, 1999.
- Vancluysen *et al.*, 2005 Vancluysen, K; Cafiero, R.; Clark, T.; Smithe, L.; Fassone, M.; Hayes, S.; Ros, L.; Schmitz, P. –State of art on noise abatement policies and tools in cities, noise abatement priorities and necessary technologies. SILENCE Project Report SILENCE_I.D1-2-3_POLIS.doc, 2005.
- Vallet, 1993 Vallet, M. – Noise and Man 93, Noise as a public health problem. Proceedings of the 6th International Congress, France, 1993.
- Vermeir *et al.*, 2004 Vermeir, G.; Geentjens, G.; Bruyninckx, W. – Measurement and calculation experiences on facade sound insulation, In proceedings of Internoise 2004, Praga, 2004.
- Viollon *et al.*, 2002 Viollon, S.; Lavandier, C.; Drake, C. – Influence of visual setting on sound rating in an urban environment. Applied Acoustics, 63 (5), 493-511, 2002.
- Viollon, 2000 Viollon, S. – Influence des informations visuelles sur la caractérisation de la qualité acoustique de l'environnement urbain. Tese de doutoramento, Universidade de Cergy-Pontoise, 2000.
- Vos, 1992 Vos; J. – Annoyance caused by simultaneous impulse, road-traffic, and aircraft sounds: A quantitative model. Journal of the Acoustical Society of America, 91 (6), 330-3345, 1992.
- Thorsson *et al.*, 2004 Thorsson, P.; Ögren, M.; Kropp, W. – Noise levels on the shielded side in cities using a flat city model. Applied Acoustics, 65 (3), 313–323, 2004.
- Watson, 2006 Watson, D., 2006 – Evaluation of benefits and opportunities for innovative noise barrier designs, HDR Engineering Inc, Arizona, EUA, 2006 (www.azdot.gov/TPD/ATRC/publications/project_reports/PDF/AZ572.pdf).

- Thompson, 2004 Thompson, E. – The Soundscape of Modernity: Architectural Acoustics and the Culture of Listening in America, 1900-1933, MIT Press, 2004.
- Truax, 1978 Truax, B. – Handbook for acoustic ecology, A.R.C: Publications, Canada, 1978.
- Watts et al, 1999 Watts, G.; Chinn, L.; Godfrey, N. – The effects of vegetation on the perception of traffic noise, Applied Acoustics 56(1), pp 36-56, 1999.
- Watts, 1996 Watts, G. – Perception of exterior noise from traffic running on concrete and bituminous road surfaces. Journal of sound and vibration, vol. 191 (3), 415-430, 1996.
- Yang e Kang, 2005a Yang, Y.; KANG, J. – Soundscape and Sound Preferences in Urban Squares: A Case Study in Sheffield, Journal of Urban Design, 10(1), 61–80, 2005.
- Yang e Kang, 2005b Yang, W.; Kang, J. – Acoustic comfort evaluation in urban public spaces, Applied Acoustics, 66 (2), 211-229, 2005.
- Zeitler, 2002 Zeitler, A. – Auditory Pleasantness: Methodological Considerations in the Application of Psychophysical Scaling Methods for Sound Quality Evaluation. Logos Verlag Berlin, 2002.
- Zwicker e Fastl, 1999 Zwicker, E.; Fastl, H. – Psycho-acoustics. Facts and models. 2^o edition, Springer, 1999.

Anexo I: Ortofotos dos locais de estudo ao longo da VCI

Ortofoto, com a sinalização da localização do Condomínio de São José (Local 1) e Bairro de Bessa Leite (Local 2)



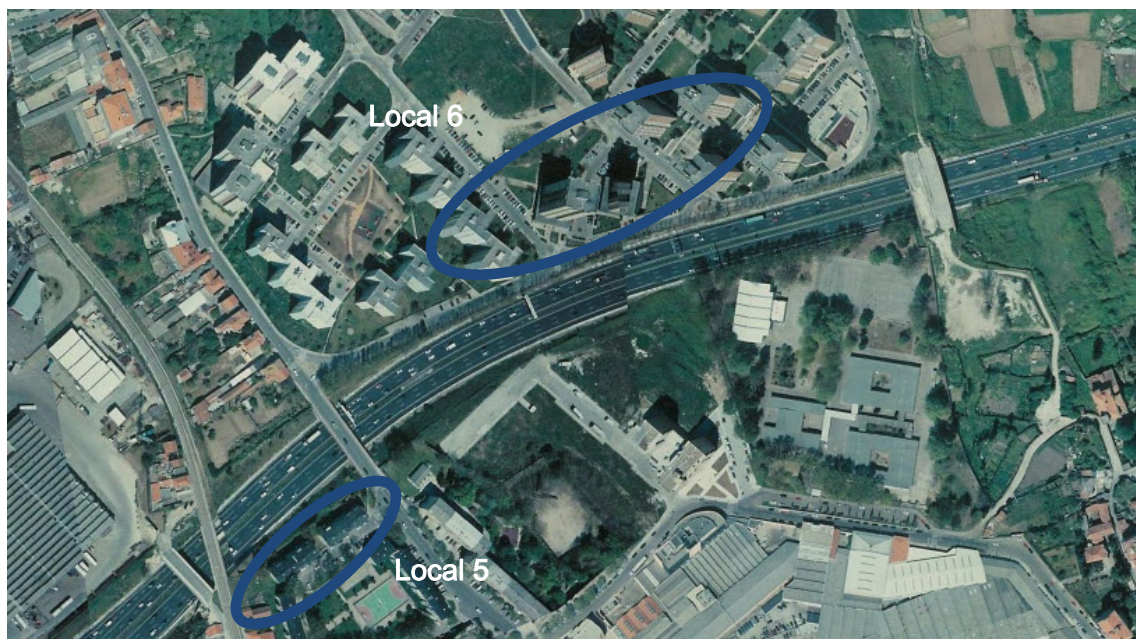
Ortofoto, com a sinalização da localização do Bairro do Foco (Local 3) e Bairro São João Bosco e Condomínio das Andrezas (Local 4)



Ortofoto, com a sinalização do Condomínio das Andrezas (Local 4)



Ortofoto, com a sinalização do Condomínio da Prelada (Local 5) e do Bairro Central de Francos (Local 6)



**Anexo II: Caracterização física e psicoacústica dos locais
seleccionados na VCI**

Local 1: Condominio de São José***** Cursor Reading: Binaural Loudness Values**

Binaural Loudness: 16,2 sone

***** Cursor Reading: Sound Quality Values**

	Left	Right	
Stationary Loudness:	16,1	16,2	sone
Loudness (Mean):	15,2	15,3	sone
Inst.Loudness (Mean):	15,2	15,3	sone
Sharpness (Mean):	0,857	0,856	acum
Roughness:	1,43	1,48	asper
Fluctuation Strength:	0,773	0,752	vacil

***** Cursor Reading: RMS of the time signal**

	Left	Right	
unweighted	75,2	75,6	dB
A weighted	62,4	62,5	dB
B weighted	67,8	67,9	dB
C weighted	72	72,2	dB
D weighted	67,7	67,8	dB

***** Cursor Reading: Peak level**

	Left	Right	
Peak level	89,4	91,7	dB

***** Cursor Reading: Maximum Value**

Y Right	91,7	dB/20,0 μ Pa
X	8,804	s

***** Cursor Reading: Statistical Loudness**

	Left	Right	
Max.:	24,8	25,7	sone
Min.:	0,73	0,589	sone
Mean:	15,2	15,3	sone
RMS :	15,3	15,4	sone
Standard Dev.:	1,71	1,75	sone
N(5):	18	17,9	sone
N(10):	17,1	17,2	sone
N(50):	15,1	15,2	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	27,8	29,1	sone
Min.:	3,28	2,65	sone
Mean:	15,2	15,3	sone
RMS :	15,3	15,4	sone
Standard Dev.:	1,91	1,94	sone
N(5):	18,4	18,5	sone
N(10):	17,5	17,5	sone
N(50):	15,1	15,2	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness
(Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	3,05	2,96	acum
Min.:	0,697	0,693	acum
Mean:	0,857	0,856	acum
Standard Dev.:	0,101	0,1	acum
N(5):	0,942	0,939	acum
N(10):	0,919	0,917	acum
N(50):	0,854	0,853	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	72,5	72,7	dB
Max.:	64	63,9	dB
Min.:	5,81	5,95	dB
Mean:	55,3	55,5	dB
Standard Dev.:	54,1	54,3	dB
N(5):	63,6	63,5	dB
N(10):	62,7	62,9	dB
N(50):	55,4	55,3	dB

Local 2 : Bairro Social de Bessa Leite***** Cursor Reading: Binaural Loudness Values**

Binaural Loudness: 29,9 sone

***** Cursor Reading: Sound Quality Values**

	Left	Right	
Stationary Loudness:	29,8	30,1	sone
Loudness (Mean):	27,5	27,8	sone
Inst.Loudness (Mean):	27,6	27,8	sone
Sharpness (Mean):	1	0,997	acum
Roughness:	1,58	1,61	asper
Fluctuation Strength:	0,921	0,892	vacil

***** Cursor Reading: RMS of the time signal**

	Left	Right	
unweighted	84,4	84,5	dB
A weighted	71,2	71,3	dB
B weighted	75,9	76,1	dB
C weighted	81	81,2	dB
D weighted	76,4	76,5	dB

***** Cursor Reading: Peak level**

	Left	Right	
Peak level	99,3	99,2	dB

***** Cursor Reading: Maximum Value**

Y Right	99,2	dB/20,0 μ Pa
X	14,59	s

***** Cursor Reading: Statistical Loudness**

	Left	Right	
Max.:	42,3	43,6	sone
Min.:	3,42	3,14	sone
Mean:	27,5	27,8	sone
RMS :	28	28,2	sone
Standard Dev.:	4,75	4,76	sone
N(5):	35,3	35,5	sone
N(10):	34,1	34,4	sone
N(50):	27,6	27,8	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	46,6	46,9	sone
Min.:	15,4	14,1	sone
Mean:	27,6	27,8	sone
RMS :	28	28,3	sone
Standard Dev.:	4,96	4,98	sone
N(5):	35,8	36,1	sone
N(10):	34,2	34,6	sone
N(50):	27,5	27,7	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness
(Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	2,93	2,93	acum
Min.:	0,731	0,743	acum
Mean:	1	0,997	acum
Standard Dev.:	0,141	0,141	acum
N(5):	1,16	1,15	acum
N(10):	1,11	1,11	acum
N(50):	1	0,997	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	82,7	82,8	dB
Max.:	79,7	79,8	dB
Min.:	26,2	26	dB
Mean:	64,3	64,4	dB
Standard Dev.:	65,5	65,5	dB
N(5):	72,5	72,9	dB
N(10):	71,7	71,9	dB
N(50):	62,3	62,6	dB

Local 3 : Bairro do Foco

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 25 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	24,6	25,4	sone
Loudness (Mean):	23,5	24,3	sone
Inst.Loudness (Mean):	23,6	24,3	sone
Sharpness (Mean):	1,06	1,06	acum
Roughness:	1,49	1,59	asper
Fluctuation Strength:	0,839	0,892	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	78,6	79	dB
A weighted	68,8	69,3	dB
B weighted	72	72,5	dB
C weighted	75,7	76,2	dB
D weighted	73,6	74,1	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	91,7	91,7	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right 93,6 dB/20,0μ Pa
X 533,6m s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	32,5	33,5	sone
Min.:	1,95	1,29	sone
Mean:	23,5	24,3	sone
RMS :	23,7	24,5	sone
Standard Dev.:	2,56	2,59	sone
N(5):	28	28,8	sone
N(10):	26,9	27,8	sone
N(50):	23,3	24,1	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	35,2	36,5	sone
Min.:	8,78	5,81	sone
Mean:	23,6	24,3	sone
RMS :	23,7	24,5	sone
Standard Dev.:	2,81	2,86	sone
N(5):	28,5	29,4	sone
N(10):	27,3	28,1	sone
N(50):	23,4	24,2	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	2,97	2,91	acum
Min.:	0,889	0,877	acum
Mean:	1,06	1,06	acum
Standard Dev.:	0,108	0,108	acum
N(5):	1,16	1,16	acum
N(10):	1,13	1,13	acum
N(50):	1,05	1,05	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	77,1	77,6	dB
Max.:	68,5	68,9	dB
Min.:	21,4	21,1	dB
Mean:	60,1	60,6	dB
Standard Dev.:	58,3	58,8	dB
N(5):	68,4	68,8	dB
N(10):	68,1	68,6	dB
N(50):	59,7	60,2	dB

Local 4 : Bairro do Foco

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 29,1 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	29	29,3	sone
Loudness (Mean):	27,3	27,5	sone
Inst.Loudness (Mean):	27,3	27,6	sone
Sharpness (Mean):	1,03	1,03	acum
Roughness:	1,51	1,56	asper
Fluctuation Strength:	0,814	0,805	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	82,3	82,4	dB
A weighted	71	71,2	dB
B weighted	75,6	75,8	dB
C weighted	79,9	80,1	dB
D weighted	76,4	76,6	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	96,3	95,8	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right 96,1 dB/20,0 μ Pa
X 48,58 s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	43,7	44	sone
Min.:	1,51	0,554	sone
Mean:	27,3	27,5	sone
RMS :	27,6	27,9	sone
Standard Dev.:	4,21	4,26	sone
N(5):	35,1	35,5	sone
N(10):	33,1	33,3	sone

N(50):	26,3	26,6	sone
--------	------	------	------

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	47	47,4	sone
Min.:	6,8	2,49	sone
Mean:	27,3	27,6	sone
RMS :	27,6	27,9	sone
Standard Dev.:	4,4	4,45	sone
N(5):	35,7	36	sone
N(10):	33,2	33,5	sone
N(50):	26,4	26,7	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness
(Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	2,96	2,89	acum
Min.:	0,858	0,859	acum
Mean:	1,03	1,03	acum
Standard Dev.:	0,112	0,113	acum
N(5):	1,14	1,15	acum
N(10):	1,1	1,11	acum
N(50):	1,02	1,02	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	80,5	80,7	dB
Max.:	73,4	73,7	dB
Min.:	29	28,8	dB
Mean:	63,1	63,3	dB
Standard Dev.:	62,2	62,5	dB
N(5):	72,7	72,9	dB
N(10):	72,4	72,7	dB
N(50):	62	62,2	dB

Local 5 : Bairro do Foco

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 24,1 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	24,1	24,1	sone
Loudness (Mean):	22,2	22,2	sone
Inst.Loudness (Mean):	22,2	22,2	sone
Sharpness (Mean):	0,987	0,982	acum
Roughness:	1,71	1,75	asper
Fluctuation Strength:	0,921	0,924	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	80,7	80,8	dB
A weighted	67,4	67,5	dB
B weighted	72,9	73	dB
C weighted	78	78	dB
D weighted	73,1	73,2	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	96,5	96,3	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	96,3	dB/20,0μ Pa
X	18,02	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	34,2	34,9	sone
Min.:	0,799	0,66	sone
Mean:	22,2	22,2	sone

RMS :	22,5	22,6	sone
Standard Dev.:	4,16	4,17	sone
N(5):	29,9	29,9	sone
N(10):	28,4	28,4	sone
N(50):	21,7	21,7	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	37,3	38,5	sone
Min.:	3,6	2,96	sone
Mean:	22,2	22,2	sone
RMS :	22,6	22,6	sone
Standard Dev.:	4,29	4,31	sone
N(5):	30,2	30,2	sone
N(10):	28,3	28,4	sone
N(50):	21,7	21,7	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	2,97	3,12	acum
Min.:	0,742	0,753	acum
Mean:	0,987	0,982	acum
Standard Dev.:	0,142	0,141	acum
N(5):	1,16	1,16	acum
N(10):	1,09	1,08	acum
N(50):	0,97	0,966	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	80,1	80,1	dB
Max.:	74,2	74,1	dB
Min.:	29,6	29,3	dB
Mean:	62,2	62,2	dB
Standard Dev.:	62,5	62,5	dB
N(5):	72	72,2	dB
N(10):	71,8	71,9	dB
N(50):	59,9	60	dB

Local 6 : Bairro Central de Franos

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 23,9 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	23,6	24,1	sone
Loudness (Mean):	22	22,4	sone
Inst.Loudness (Mean):	22,1	22,4	sone
Sharpness (Mean):	1,02	1,02	acum
Roughness:	1,59	1,61	asper
Fluctuation Strength:	0,943	1,01	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	78,7	79,1	dB
A weighted	67,4	67,7	dB
B weighted	71,7	72,1	dB
C weighted	76,1	76,5	dB
D weighted	72,7	73	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	91,1	91,6	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	92,4	dB/20,0μ Pa
X	37,28	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	30,9	32,8	sone
Min.:	1,72	1,79	sone
Mean:	22	22,4	sone

RMS :	22,2	22,6	sone
Standard Dev.:	2,73	2,79	sone
N(5):	27,5	27,8	sone
N(10):	25,9	26,2	sone
N(50):	21,4	21,8	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	33,8	36	sone
Min.:	7,73	8,04	sone
Mean:	22,1	22,4	sone
RMS :	22,3	22,6	sone
Standard Dev.:	2,92	2,99	sone
N(5):	27,7	28,1	sone
N(10):	26,1	26,5	sone
N(50):	21,6	21,9	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness
(Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	2,96	2,93	acum
Min.:	0,818	0,8	acum
Mean:	1,02	1,02	acum
Standard Dev.:	0,145	0,145	acum
N(5):	1,22	1,21	acum
N(10):	1,15	1,14	acum
N(50):	1	0,996	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	77	77,3	dB
Max.:	71,1	71,5	dB
Min.:	16,7	16,7	dB
Mean:	59,5	59,9	dB
Standard Dev.:	58,8	59,3	dB
N(5):	69,7	70,3	dB
N(10):	66,5	66,9	dB
N(50):	57,7	58	dB

Anexo III: Guião da entrevista e inquérito piloto



ENTREVISTA/QUESTIONÁRIO DA AVALIAÇÃO DAS PERCEPÇÕES DA POPULAÇÃO

Bom dia/Bom tarde/Boa noite. Eu sou funcionária do LNEC, no Núcleo de Acústica e Iluminação e estou a desenvolver um estudo acerca das condições ambientais em zonas urbanas, preocupando-me principalmente o problema da poluição sonora e a integração de aspectos da percepção sonora na avaliação do ambiente sonoro.

Neste sentido, foi preparado um guião para uma entrevista e um questionário destinado a recolher as opiniões dos habitantes das zonas abrangidas pelo estudo (zonas envolventes à Via de Cintura Interna (VCI)), e pedimos a sua colaboração para o nosso trabalho, em paralelo com este questionário serão realizadas medições dos níveis sonoros dos compartimentos (sala/quartos) localizados na fachada mais próxima da VCI e efectuados registos áudio correspondentes.

As suas respostas são **RIGOROSAMENTE ANÓNIMAS E CONFIDENCIAIS**, e tratadas apenas pela equipa responsável pelo estudo. Não lhe pedimos que se identifique, mas apenas nos forneça informações de carácter muito geral acerca das suas condições de vida e da forma como as encara. É importante que responda com objectividade e não deixe de responder a nenhuma das perguntas. Não existem respostas correctas, simplesmente queremos a sua opinião sobre os temas abordados. Da sua colaboração e compreensão depende o sucesso deste trabalho, e desde já agradecemos o tempo que coloca à nossa disposição.

Pode dispensar um pouco do seu tempo (se perguntarem... 30 min)

Muito obrigado pela sua participação.

Treino de resposta

Para perceber melhor como deverão ser a maioria das respostas ao questionário, vou apresentar-lhe um exemplo.

Suponha a seguinte situação hipotética “ Se a localização da minha casa fosse muito próxima de uma pista de aterragem de aviões, indique em que medida o som dos aviões o/a incomoda (ou perturba) , quando está em sua casa”... Poderia responder:

Extremamente (=100% de incomodo), muito (=75% de incomodo), ou moderadamente (= 50% de incomodo), se não se sentisse incomodado poderia responder absolutamente nada (= 0% de incomodo) ou ligeiramente (25% de incomodo).

A escala numérica de 11 pontos (0 – 10) foi escolhida para que possa expressar a sua opinião relativamente ao incomodo ou perturbação que sente. Se não se sente nada incomodado escolha zero, se sente extremamente incomodado escolha dez, se está entre nada e extremamente incomodado escolha um número intermédio.

Absolutamente

Nada

Extremamente

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Entrevista

Nº Ordem da entrevista _____

(solicitar autorização para registar em gravador a entrevista, é importante a entrevista de residentes que vivam na área a algum tempo (pelo menos 1 ano), e que sejam proprietários das residências).

Gostaria que me desse a sua opinião relativamente aos seguintes assuntos:

- o contentamento com a sua residência e estrutura do prédio
- as condições sonoras dentro da sua residência (dia/entardecer/noite aos dias de semana e fim de semana)
- a orientação espacial dos compartimentos da sua residência, tendo em conta a influência do ruído
- as condições sonoras no exterior da sua residência (dia/entardecer/noite aos dias de semana e fim de semana)

(caso exista algum desagrado com o ambiente exterior, segue-se o tema:

- no seu entender como é que poderia ser resolvido o problema do ambiente sonoro na vizinhança próxima à sua residência)

- O ambiente sonoro na cidade do Porto
- natureza da experiência diária com os transportes públicos e ou veículo próprio
- O ambiente onde gostava de viver
- Os sons que gosta
- O som dos automóveis
- O som das motorizadas
- O som dos autocarros e outros veículos pesados
- O som dos comboios
- O som do metro
- O som dos aviões

Questionário

A -DADOS REFERENTES Á RESIDENCIA

1 . Há quantos anos neste bairro.....anos

2. Há quanto tempo vive nesta casa:.....anos

3– Quantas pessoas adultas (maiores de 18 anos) residem consigo?

4 – Quantas pessoas entre os 10 e 18 anos residem consigo?

5 – Quantas crianças entre os 5 e os 10 anos residem consigo?

6 – Quantas crinças com menos de 5 anos residem consigo ?

7 . Quantas divisões habitaveis (salas e quartos) tem a sua casa?

8. Agrada-lhe o bairro o onde habita?

1- Agrada-me extremanente

2 – Agrada-me muito

3 – Agrada- me moderadamente

4 – Nem agrada, nem desagrada

5 – Desagrada-me um pouco

6- Desagrada-me muito

7 – Desagrada-me extremamente

9 . Agrada-lhe a casa onde habita?

1- Agrada-me extremanente

2 – Agrada-me muito

3 – Agrada- me moderadamente

4 – Nem agrada, nem desagrada

5 – Desagrada-me um pouco

6- Desagrada-me muito

7 – Desagrada-me extremamente

10 – Indique a principal razão porque escolheu este bairro para viver?

.....

.....

.....

11. A sua casa é:

1- Propriedade pessoal

2 – Alugada/ arrendada

3 – Sub-alugada

4 – Cedida

5 – Outro, qual?

12 . Viveu sempre no mesmo bairro?

1 - Sim

--

2 – Não

--

Caso tenha respondido SIM, passar para a pergunta 15

13 – O último bairro onde residiu era.

1- Na mesma zona da cidade do Porto

2 – Noutra zona da Cidade do Porto (especificar)

2 – Noutra Cidade

3 – No campo

4 – Outro, qual?

14 – Como considera o actual local de residência em comparação com o anterior?

1- Pior

2 –Igual

3 – Melhor

15 – Actualmente, deseja mudar de casa?

Sim, porquê?.....

.....

Não, porquê?.....

.....

1- NR

16– Indique (em média) os períodos do dia ou da noite em que se encontra em sua casa ?

1. durante os dias de semana

Horas

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

2. Ao fim de semana

Horas

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

17– Quando está em sua casa, qual é a divisão da casa onde passa mais de 50% do seu tempo, entre as 7 horas da manhã e as dez da noite?

1 . Quarto de dormir

3 . Sala

2. Cozinha

Outro (especificar)

18 – Considera que tem no lugar onde mora uma situação satisfatória (ou não) quanto à:

Características do local	Sim	Não (registrar o que referência como carência)
1 - Equipamento Lugares para compras, por ex. lojas, supermercados, drogarias, centros comerciais...)		
- Escolas		
- Locais de convívio Cafés, esplanadas, cinemas, parques		
- Serviços Correios, farmácia, bancos...		
- Locais de desporto Ginásios, piscinas, pavilhões desportivos		
- Locais culturais		

Bibliotecas. Museus, Teatros		
2 – Transporte publico		
3 – Assistencia médica		
4 – Condições do meio ambiente Poluição do ar Ruído de trafego Ruído de vizinhança		
5 – Proximidade do local de trabalho		

19 – Há mais alguma vantagem ou desvantagem em viver neste lugar?

Vantagem.....
.....
.....

Desvantagem.....
.....
.....

20 – Que meios de transporte utiliza habitualmente entre o local de residência e o local de trabalho

1- não trabalha

2 – a pé

3 – de bicicleta

4 – motorizada

5 – automóvel próprio

6- automóvel de outrém

7 – metropolitano

8 – autocarro/camioneta

9- electrico

DADOS REFERENTES Á PERCEPÇÃO SONORA

21. Pensando nos ultimos doze meses, e quando está aqui em sua casa, quanto é que o ruído proveniente do trafego rodoviario, o incomoda ou perturba, durante o dia (7 horas- 20 horas)

- 1- Extremamente
- 2 – Muito
- 3 – Moderadamente
- 4 – Ligeiramente
- 5 – Absolutamente nada

Expresse agora o incomodo ou perturbação que sente relativamente ao ruído de tráfego rodoviário, considerando uma escala numérica de 11 pontos (0 – 10). Se não se sente nada incomodado escolha zero, se sente extremamente incomodado escolha dez, se está entre nada e extremamente incomodado escolha um número intermédio.

Absolutamente

Nada

Extremamente

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

22. Pensando nos ultimos doze meses, e quando está aqui em sua casa, quanto é que o ruído proveniente do trafego rodoviario, o incomoda ou perturba, durante o periodo do entardecer (20-23 horas)

- 1- Extremamente
- 2 – Muito
- 3 – Moderadamente
- 4 – Ligeiramente
- 5 – Absolutamente nada

Expresse agora o incomodo ou perturbação que sente relativamente ao ruído de tráfego rodoviário, considerando uma escala numérica de 11 pontos (0 – 10). Se não se sente nada incomodado escolha zero, se sente extremamente incomodado escolha dez, se está entre nada e extremamente incomodado escolha um número intermédio.

Absolutamente

Nada

Extremamente

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

23 . Em que actividades o ruído do trafego rodoviario o incomoda ou pertuba, a só, durante o dia/entardecer (7 -23 horas)r?

- 1- Interfere com a conversação
- 2 – Ouvir televisão, radio, etc.
- 3 – Interfere com a concentração durante o estudo/trabalho
- 4 – Causa fadiga e dores de cabeça

5 – Provoca dificuldades em descansar/ adormecer

6 – Outra (especificar).....

24. Pensando nos últimos doze meses, e quando está aqui em sua casa, quanto é que o ruído proveniente do tráfego rodoviário, o incomoda ou perturba, durante a noite (23-07 horas)

1- Extremamente

2 – Muito

3 – Moderadamente

4 – Ligeiramente

5 – Absolutamente nada

Expresse agora o incomodo ou perturbação que sente relativamente ao ruído de tráfego rodoviário, considerando uma escala numérica de 11 pontos (0 – 10). Se não se sente nada incomodado escolha zero, se sente extremamente incomodado escolha dez, se está entre nada e extremamente incomodado escolha um número intermédio.

Absolutamente

Nada

Extremamente

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

25 . Em que actividades o ruído do tráfego rodoviário incomoda ou perturba durante a noite (23 -7 horas)?

1- Interfere com a conversação

2 – Ouvir televisão, rádio, etc.

3 – Interfere com a concentração durante o estudo/trabalho

4 – Causa fadiga e dores de cabeça

5 – Provoca dificuldades em descansar/ adormecer

6 – Outra (especificar).....

26 . Assinale os sons que o incomodam, indicando o respectivo grau de incomodidade, de acordo com a seguinte escala.

O som não existe no local indicado	0
Nada incomodativo	1
Ligeiramente incomodativo	2
Moderadamente Incomodativo	3
Muito incomodativo	4
Extremamente incomodativo	5

	Graus de incomodidade			
Sons	Na sua residencia	No trajecto entre a sua casa e o trabalho	No seu local de trabalho	No exterior da sua residência (vizinhança próxima)
Sons de feiras, cinemas, circos, discotecas, etc				
Sons de automóveis				
Sons de instalações industriais e oficinas				
Sons de motorizadas				
Sons de obras e construções				
Sons providos dos animais no exterior				
Sons dos comboios				
Sons do Metro				
Sons de aviões				
Sons do telefone				
Sons do trafego em geral				
Sons providos de crianças no exterior				
Vozes e outros sons provindos dos vizinhos				
Sons do vento ou por ele provocados				
Sons de autocarros e veiculos pesados				
Sons dos carros de bombeiros				
Sons de ambulâncias				

Indique outros sons que para si sejam incomodativos	Graus de incomodidade			
	Na sua residencia	No trajecto entre a sua casa e o trabalho	No seu local de trabalho	No exterior da sua residência (vizinhança próxima)

27. Assinale a frequência com que ouve esses sons de acordo com a seguinte escala:

Nunca	0
Raramente	1
De vez em quando	2
Frequentemente	3
Muito frequentemente	4
Permanentemente	5

	Frequência com que é incomodado			
Sons	Na sua residência	No trajecto entre a sua casa e o trabalho	No seu local de trabalho	No exterior da sua residência (vizinhança próxima)
Sons de feiras, cinemas, circos, discotecas, etc				
Sons de automóveis				
Sons de instalações industriais e oficinas				
Sons de motorizadas				
Sons de obras e construções				
Sons providos dos animais no exterior				
Sons dos comboios				
Sons do Metro				
Sons de aviões				
Sons do telefone				
Sons do tráfego em geral				
Sons providos de crianças no exterior				
Vozes e outros sons provindos dos vizinhos				
Sons do vento ou por ele provocados				
Sons de autocarros e veículos pesados				
Sons dos carros de bombeiros				
Sons de ambulâncias				
Indique outros sons que para si sejam incomodativos				

28. Acha que esse sons incomodos o perturbam ou prejudicam de algum modo?

Sim ☐ Não ☐ Não sei ☐

29. Em caso afirmativo, quais os efeitos que nota?

.....

.....

.....

.....

.....

30. Em sua opinião, como é que esse problema dos sons incomodos poderia ser resolvido?

.....

.....

.....

.....

.....

DADOS PESSOAIS

31. Sexo:

Masculino

☐

Feminino

☐

32. Grupo etário (de acordo com a classificação dos grupos etários do INE) :

1. Entre 15 e 19 anos

☐

7. Entre 45 e 49 anos

☐

2. Entre 20 e 24 anos

☐

8. Entre 50 e 54 anos

☐

3. Entre 25 e 29 anos

☐

9. Entre 55 e 59 anos

☐

4. Entre 30 e 34 anos

☐

10. Entre 60 e 64 anos

☐

5. Entre 35 e 39 anos

☐

11. Entre 65 e 69 anos

☐

6. Entre 40 e 44 anos

☐

12. Entre 70 e 74 anos

☐

13. Mais de 75 anos

☐

33. Qual o seu nível de escolaridade?

1. Sem instrução escolar

☐

5. Curso Politecnico

☐

2. Instrução primária

☐

6. Curso Superior

☐

3. Instrução secundária

☐

7. Post-graduação (mestrado)

☐

4. Curso Técnico/Profissional

☐

8. Doutoramento

☐

9. Outro (especificar)

.....

☐

34. Indique, por favor qual a sua actividade profissional

1. Emprego a tempo parcial

☐

2. Emprego a tempo inteiro

☐

a) Administração Publica

☐

b) Empresa Privada

☐

c) Outro (especificar)

.....

3. Desempregado/a

☐

4. Reformado/a

☐

5. Domestica/o

☐

6. Estudante

☐

35. Que funções exerce no seu local de trabalho?

.....

36. Lugar de trabalho e respectiva localização (rua, freguesia, concelho)

.....

37. Indique o seu rendimento familiar mensal aproximado (Euros/mês) :

1. Menor que 500 €

☐

7. Entre 2000 e 3000 €

☐

2. Entre 500 e 1000 €

☐

8. Entre 3000 e 5000 €

☐

3. Entre 1000 e 2000 €

☐

9. Mais de 5000 €

☐

38. Indique se sofre de algum destes problemas de saúde?

1. Insonias

☐

2. Dificuldades auditivas

☐

3. Doença cardíaca

4. Doença no sistema circulatório/ Problemas de tensão arterial

9. Outro (especificar)

OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO

Anexo IV: Transcrições de entrevistas do inquérito piloto

Entrevista 01

Local: Foco, a entrevista decorreu no cabeleireiro, cujo salão estava orientado para a VCI, ao nível do r/c, e as fachadas eram de vidro duplo. No interior deste cabeleireiro, não era perceptível o ruído de tráfego rodoviário, existindo uma música ambiente. O indivíduo entrevistado vive no 14 piso do mesmo prédio. Uma vez que vive para a fachada menos exposta (ou seja, todos os compartimentos da sua residência dão para o jardim), não nota nenhum problema de ruído, nem nota nenhuma diferença do ambiente sonoro entre o dia, o final da tarde e a noite. Entrevistado do sexo masculino, entre 35-40 anos.

Entrevistador: Gostaria que me dissesse, se esta contente com a sua residência, com a estrutura, com as paredes do edifício em que habita, se não ouve ruídos? Se esta contente com ambiente sonoro, iluminação, da sua residência?

Inquirido: Sim. Eu gosto de viver aqui nesta zona. Pontualmente, no silêncio da noite. As duas três da manhã, se não estiver a dormir, ouve-se qualquer coisinha, mas nada que tire o sono, dentro de casa.

Entrevistador : E no exterior da sua habitação?

Inquirido. Se estiver no jardim, é ótimo, não se ouve barulho.

Entrevistador Também não costuma fazer deslocações aqui para os terraços (que dão directamente para a VCI)?

Inquirido. Não.

Entrevistador : O que é que acha do ambiente sonoro da cidade do Porto? Têm alguma opinião?

Inquirido. Sei lá, vivo aqui há tantos anos, acho que é igual às outras cidades, há mais barulho porque é uma cidade maior, comparativamente à Amarante, Vila Real, que são cidades que eu conheço mais.

Entrevistador : Mas não o incomoda ?

Inquirido: Não, não me incomoda.

Entrevistador Portanto, vive num espaço, onde não tem problemas relativamente ao ambiente sonoro?

Inquirido. Sinceramente, acho que esta zona, é uma das melhores zonas do Porto para viver. Por exemplo, eu já vivi numa rua que era que era muito movimentada e isso sim era horrível. Dentro de casa não tinha condições nenhuma, era próximo da Praça da Republica, era horrível.

Entrevistador : Já agora, permita-me uma questão, existe alguma diferença de preços entre os apartamentos que estão virados directamente para a VCI e os que estão orientados para o lado oposto? (Nota: mais tarde compreendeu-se que esta questão não fazia sentido, pois o prédio foi construído nos anos setenta, altura em que a VCI era uma estrada com uma via em cada sentido, pelo que, nesse época o prédio encontrava-se distanciado da VCI, posteriormente é que foi efectuado um alargamento do número de vias em cada faixa).

Inquirido. Dependendo do andar é possível que os apartamentos que estejam virados para a VCI sejam mais caros, pois tem vistas de mar, logo isso deve influenciar o preço, não sei. Eu sei, que há pessoas que viradas para a VCI tiveram que recorrer as janelas duplas porque acho que ouviam muito barulho.

Entrevistador : De que tipo de sons é que gosta?

Inquirido : Eu gosto de sons musicais. Gosto de ouvir os passarinhos também.

,

Entrevistador : O que acha do som dos automóveis? (se gosta, se o incomoda)

Inquirido.: Depende do meu estado de espírito, também, depende do momento, as vezes posso estar num dia menos bom, e incomoda-me e irrita-me, as vezes há carros que fazem mais barulho. Se tiver bem disposto, eu até gosto de automóveis, gosto de assistir a provas. Se me incomodassem muito eu nunca iria, porque eles fazem muito barulho.

Entrevistador : O som das motorizadas?

Inquirido: Olhe, isso irrita-me mais. O som das motorizadas irrita-me mais.

Entrevistador : Tem algum termo, ou palavra que possa descrever o som das motorizadas, ou aquilo que sente quando ouve uma motorizada a passar?

Inquirido: Por exemplo, se for uma moto mesmo moto, de cilindrada alta, até gosto de ouvir o barulho. Se calhar incomoda-me mais aquelas motinhas pequeninas, sabe, principalmente quando os escapes estão alterados

Entrevistador : Relativamente ao som dos autocarros e veículos pesados?

Entrevistador : Não me incomodam.

Entrevistador : Tem algum adjectivo para esse som?

Inquirido: É o barulho normal, se pudessem fazer menos barulho. Mas eu acho, que mesmo os autocarros melhoraram muito, em termos de barulho, já não fazem aquele barulho. Se calhar incomoda-me mais a fumaça que eles deixam.

Entrevistador Talvez esse facto esteja mais associado aos veículos pesados?

Inquirido: Exacto.

Entrevistador : O que é que considera relativamente ao som dos aviões?

Inquirido. O barulho dos aviões, eu não sou a pessoa mais indicada.

Entrevistador : Como é que descreve, para si o som dos aviões?

R. É um som ensurdecador.

Entrevistador: Neste momento, na sua vida diária, não existe nenhum som que o incomode, particularmente, nem que o afecte?

Inquirido: Não.

Entrevista 02

Local: Rua do Lena, localizada no Bairro Social de Francos. A entrevista foi realizada na residência do indivíduo entrevista, cujo prédio tinha uma orientação perpendicular à VCI, e próxima da linha do metro de superfície. O entrevistado era do sexo masculino, com uma idade compreendida entre 55-59 anos. Este indivíduo pertenceu ao grupo de fundadores da associação de moradores do Bairro de Francos.

Entrevistador: Qual o seu contentamento relativamente a sua residência e estrutura do prédio, este questionário encaminha-se mais para a parte do ruído, mas se tiver outros aspectos que queira comentar.

Inquirido: O problema aqui no prédio é o ruído, de resto é um bairro muito sossegado, em relação aos outros, tanto que este é pequenino. O metro não faz ruído nenhum

Entrevistador: Nem sente vibrações?

Inquirido: Não se sente nada.

Entrevistador: E quando era o comboio?

Inquirido: Quando era o comboio sentia-se, bem era uma estrutura muito mais pesada.

Nota. Entretanto passou o metro, e constatou-se que não se sentia nada.

Entrevistador O ruído no prédio, é mais ruído aéreo, ou é também passos?

Inquirido: Nota-se a pessoas a andar, as senhoras aqui de cima, para meu azar, faziam limpezas em bancos, elas saiam daqui as 4 e meia, cinco da manhã, parece que mudam os móveis logo de manhã. A partir das cinco e meia, seis horas, parece que já andam a arrumar a mobília toda.

Entrevistador: E vozes?

Inquirido: Não.

Entrevistador: Relativamente a outros aspectos, como exposição solar?

Inquirido: Exposição solar, é isto ...

Entrevistador: No que respeita à estrutura do prédio, o que mais se queixa é o ruído de vizinhança pois o isolamento sonoro que é deficiente.

Inquirido: O isolamento sonoro é deficiente, ouve-se tudo, os passos, o mudar os moveis, o apoiar uma cadeira, ouve-se tudo, se cair uma esferinha lá em cima, ouve-se o pin, pin...pin, e a esferinha aos saltos.

Entrevistador: Relativamente ao exterior da sua residência, como é que considera que é o ambiente sonoro, a qualidade do ar?

Inquirido: A qualidade do ar esta melhor, quando eu vim para aqui, era só arbustos e silvas a toda a volta, vinha o circo todos os anos para ali (sensivelmente a meio do bairro, onde hoje foi construído um campo de futebol), depois formamos

uma associação de moradores, do qual eu sou fundador, e depois com o apoio da câmara, tudo o que pedi, veio tudo, pedi arvores, pedi os bancos de jardim, até as luzes e tudo, ele (arquitecto Mega Ferreira) deu um jeito com a EDP. O bairro agora esta assim , mas não havia nada, era silvas e essa coisa toda, onde esta o campo de andebol vinha para aqui um circo, com burros a pastar, essas coisas todas, e agora está assim, pois nós na associação fechamos aquilo. Entretanto eu saí, agora as entradas estão fechadas, mas foi a associação de moradores, e para a realização das obras do bairro, foi uma das grandes guerras que eu tive, pois o vereador (aquele que era da televisão, o sr. Maria José Azevedo), eles queriam vender isto, vender o bairro. Muitas casas foram vendidas, mas não queriam fazer obras, portanto o ferro estava á vista, estava muito mal isto, formamos aqui uma comissão de moradores, e passávamos a vida na câmara. Foi a primeira vez que a Câmara deu dinheiro a uma associação de moradores (pois não nos podia dar a nós o dinheiro), para pintar as casas por fora, as varandas estavam todas rachadas, tinham o ferro todo à vista.

Entrevistador: E essa rachas nas varandas poderiam ser provocadas pelo comboio?

Inquirido. Não, pelo desgaste. As únicas rachadelas que houve aqui no prédio, foi quando fizeram aqui a auto-estrada, com os rebentamentos dos tiros para fazer a auto-estrada, então ai racharam o prédio todo. Tivemos que vir para aqui fazer obras nas casas. No quarto nunca deixou de entrar agua, mesmo com as obras nunca deixou de entrar água.

Entrevistador: Mas você está no primeiro andar, tem um andar por cima?

Inquirido: Deve ser das juntas.

Entrevistador: Relativamente ao ruído da VCI, sente-se incomodado?

Inquirido: As vezes ouve-se, por exemplo se passar ali um camião e tocar (a buzina) mas não é permanente, a gente já esta habituado, a mim não me incomoda, provavelmente a estas pessoas (as que estão directamente voltadas para a VCI) e as pessoas idosas, os camiões a passar e a tocar, talvez incomode quando querem descansar, mas a mim não.

Entrevistador: Não sei se conhece as pessoas que moram nos prédios directamente virados para a VCI, eu perguntei-lhes ...e ele (um morador idoso de um desses prédios), disse-me que nas zonas (salas e quartos) virados directamente para a VCI, era impossível ter as janelas abertas, tendo estas de permanecer sempre fechadas. Gostaria de saber a sua opinião de como é que acha, e o que se poderia fazer para resolver, ou minimizar o problema de ruído da VCI.

Inquirido: É engraçado, perdoe-me a minha ignorância, eu ainda não percebi o que são bem essas barreiras, falo das barreiras acústicas de que eles falavam, quando vi o problema no jornal, há pessoas que mandaram por vidros duplos, é uma das soluções, eu para ser sincero nunca vi nem sei o que será.

Entrevistador: Mas já viu as barreiras nas estradas? As barreiras acústicas que existem nas auto-estradas.

Inquirido.: Pois isso já, e cortam o ruído? Não é melhor os vidros duplos, a bem dizer é só este bloco de prédios que estão virados para a VCI. Pois nós aqui ouvimos de vez em quando uma camioneta que por causalidade passa e toca, se não tocar a nós nem nos incomoda. Agora aqueles do lado (os prédios orientados directamente para a VCI) ou os vidros duplos ou então aquelas barreiras se efectivamente cortar o ruído.

Entrevistador : Considerando o local onde podem implantar a barreira, isso depois irá retirar a luz à casa, colocando sombra nas casas, assim como retirar a visão da via.

Inquirid: . Então é preferível os vidros duplos. Pois se me incomodasse era o que eu fazia, colocava vidros duplos.

Entrevistador: Qual é a sua opinião acerca do ambiente sonoro da cidade do Porto?

Inquirido: Eu sou um homem de cidade, da baixa, eu vim com três meses de idade para a cidade do Porto, hoje eu evito ir à baixa, podia pegar no meu carro e ir até à Póvoa e passear, eu evito ir à baixa. A baixa esta impossível é obras por todo o lado, estão a descaracterizar a cidade, ali aquela avenida dos Aliados, agora é só pedra, por ali a baixo, agora é com a desculpa de que é por caso do metro. Isso não é desculpa, não tem uns canteiros, não tem umas flores. Agora tem ali aquelas cadeiras, não acho piada nenhuma aquilo, não é melhor um jardimzinho, do que aquelas cadeiras ali. Conhece a praça da Batalha? Têm lá umas cadeiras, elas até são feias, ali no meio da praça, viradas umas para as outras, sentam-se ali duas ou três pessoas e mais nada.

Entrevistador: E relativamente aos sons da cidade?

Inquirido: Há isso, é muito barulho. Lá isso é. Na avenida dos Aliados é ruído dos paralelos, os carros fazem mais barulho, porque não põem alcatrão. Conhece a rua da Boavista? Agora já esta melhor. Era tudo em paralelo, os trilhos do eléctrico mais altos que o paralelo, se tiver alcatroado não é mais muito silencioso. Na avenida dos Aliados é tudo em paralelo, faz mais barulho, a trepidação dos carros enquanto se for de alcatrão

Entrevistador: Mas quando esta a andar pela avenida dos Aliados esses ruídos incomodam?

Inquirido É evidente os carros fazem as suas vibrações, os seus barulhos, fizeram a parte nova frente em à EFACEC, puseram alcatrão não se ouve barulho

Entrevistador: Quando esta no centro do Porto consegue ouvir os sons característicos do movimento da Cidade? Qual a sua experiência com transportes públicos?

Inquirido: . Sempre tive carro, o metro é a melhor coisa que fizeram

Entrevistador: Tem autocarros próximo?

Inquirido: Já tive mais, alteraram-se as carreiras

Entrevistador: Se quiser ir ao centro, como se desloca?

Inquirido: Vou de metro ou de carro

Entrevistador: Costuma andar a pé? Tem cafés, pastelarias, serviços de saúde próximo da sua casa?

Inquirido. Temos casa de saúde e centro de saúde, não tenho bancos, só multibanco.

Entrevistador: Consegue deslocar-se a pé, para fazer as suas compras? Quais são os sons que gosta?

Inquirido: Gosto dos sons dos pardais, aparecem aqui muitos melros e depois gosto do som da música e da televisão.

Entrevistador: O que acha dos sons dos automóveis?

Inquirido: Se for uma grande quantidade é muito aborrecido.

Entrevistador: E o som das motorizadas?

Inquirido: Agora já nem tanto, mas antes um indivíduo passava por aqui e fazia escape livre, existem indivíduos que vão com o som ligado alto dentro dos carros.

Entrevistador: E o som dos autocarros?

Inquirido: A frota de autocarros está a melhorar muito.

Entrevistador: E o som dos comboios?

Inquirido: É muito raro ouvir esse barulho, tenho de ir à Campanha ou passar na ponte, gosto do barulho dos comboios

Entrevistador: E o som dos aviões?

Inquirido: Quanto mais aviões passam melhor, gosto muito do barulho dos aviões.

Entrevistador: Quais são os sons que o mais incomodam?

Inquirido: Incomoda-me o som dos vizinhos a discutirem, de resto não tenho muito barulho proveniente da VCI

Entrevista 03

Local : Rua Eugénio de Castro, zona do Foco. A pessoa entrevistada pertenceu à comissão de moradores, para a VCI. A distância do prédio em que mora à VCI é aproximadamente de 50 metros. Indivíduo reformado entre os 60-65 anos

Entrevistador: Qual o seu contentamento relativamente a sua residência e estrutura do prédio, este questionário encaminha-se mais para a parte do ruído, mas se tiver outros aspectos que considere importantes, agradece-se a referência.

Inquirido: Eu vivo num dos melhores locais da cidade do Porto, que é designada pela zona do Foco, e o prédio é excelente, apesar da idade que tem, 35 anos, tem é este senão de estar perto da VCI, a auto-estrada, Porto Lisboa, que é o grande inconveniente. Embora habitando aqui à 15 anos, o próprio ruído já faz parte da minha vida, embora eu seja alérgico a ruídos, ao fim de 15 anos, o ruído já faz parte da minha vida, e já não tenho tantos problemas como tinha.

Entrevistador: Relativamente a outras patologias que o edifício onde habita, possa ter, o problema do ruído é o que mais o incomoda?

Inquirido: É só o ruído, o edifício é ótimo, a zona é ótima, sobretudo para nascente, com um belíssimo jardim

Entrevistador: Relativamente as condições sonoras que tem dentro da sua residência, com é que as caracteriza?

Inquirido: Se não fosse a VCI, era um dos melhores sítios da cidade do Porto. De facto a VCI, por onde passam dezenas de milhares de automóveis todos os dias, felizmente que à noite, a partir da meia-noite, o movimento não é tão grande. A minha casa está virada para poente, e todos os compartimentos da minha residência estão virados para a VCI.

Entrevistador: Quando adquiriu a sua casa a VCI, teria duas faixas de rodagem, não?

Inquirido: Sim, a VCI entretanto foi renovada, o Instituto de Estradas, colocou um piso mais suave, anti-ruído. Claro que é um piso que com o tempo, vai desaparecendo a característica de anti-ruído.

Entrevistador: Tem notado alguma diferença ao longo dos anos. Existe a referencia que foi colocada um revestimento do piso poroso drenante, este piso foi colocado à cerca de 5 anos.

Inquirido: Sim, houve aqui dois factos que atenuaram o ruído. Por um lado essa instalação de piso, e por outro a instalação de radares na VCI. O que permite, e é pena que não existam mais radares em locais mais estratégicos, e aqui até aqui mais próximo desta curva. Isto fez com que a velocidade não fosse tão grande, e como tal o ruído, não há duvida nenhuma, diminuiu bastante, talvez ai uns 20%, em relação ao passado. Mas continuo a notar todo este barulho ensurdecedor, sobretudo de motas e camiões, ou pior ainda, de carros em alta velocidade.

Entrevistador : Mas com a instalação dos radares teve alguma alteração na percepção do ruído devido ao tráfego rodoviário na VCI?

Inquirido: Sim, verificou-se uma ligeira atenuação do ruído com a instalação dos radares e concomitantemente com a colocação do revestimento de piso com características anti-ruído que o IEP colocou.

Entrevistador: E relativamente as condições sonoras na área envolvente à sua residência, onde habitualmente faz percursos a pé?

Inquirido : Quando eu saio para o jardim, que esta localizado para nascente, praticamente não oiço barulho nenhum. Este edifício tem um comprimento muito grande, e no fundo faz de barreira ao ruído proveniente da VCI.

Entrevistador: A sua residência tem todos os quartos e salas virados para a VCI? E na altura da aquisição da sua casa, a VCI só tinha uma única faixa ?

Inquirido. Tinha Norte, Sul e Sul Norte, tinha menos vias. Agora tem 6 vias. Na altura tinha duas vias.

Entrevistador: Então na altura da aquisição desta casa, o problema do ruído não era tão importante?

Inquirido: Era importante, mas de forma menor. Mesmo assim, dizem quem cá estava, à 35 anos, a VCI não era VCI, era uma pequena estrada de serviço, com pouco movimento. Só quando foi feita a cintura interna da VCI, é que esta via ganhou em dimensão e movimento. Desde há 35 anos para cá, isto tem crescido muito.

Entrevistador: Relativamente as condições sonoras no exterior próximo da sua residência, no jardim próximo e quando se desloca à pé, como avalia o ambiente sonoro.

Inquirido: O ambiente local no exterior da minha residência, no jardim, que fica nas traseiras, já não tem nada a haver com este que tenho no meu terraço. No jardim das traseiras o ruído atenua-se completamente.

Entrevistador: Não utiliza a parte do terraço virado para a VCI?

Inquirido: Utilizo sobretudo mais à noite, de dia é aborrecido estar ali com o barulho. Embora como disse, eu já estou um pouco habituado. Este movimento já faz parte da minha vida.

Entrevistador: Sente alguma diferença dos sons da VCI, durante os dias de semana e os fins-de-semana?

Inquirido: Sem dúvida, assim como a noite, e nos fins-de-semana o movimento é totalmente diferente. Nas horas de ponta, é engraçado, não existe barulho, existe condicionamento de trânsito. Quando existem filas, o barulho é muito mais baixo. Esse é outro dos graves problemas desta auto-estrada. Não existem tantos desastres como antigamente. A colocação dos radares foi benéfica. Antes dos radares existia constantemente desastres e a auto-estrada estava completamente bloqueada. Eu antes fazia o trajecto Vila da Feira para o Porto, todos os dias, e havia dias que para entrar no Porto era um Inferno completo. Hoje, de certa forma, com o aumento das auto-estradas, com as obras que fizeram, com os radares, este facto atenuou-se. Algumas coisas têm sido feitas.

Entrevistador: Percebe alguma diferença no som da VCI, durante o Verão e o Inverno?

Inquirido: Só me apercebo quando existe mais movimento. É engraçado que no Verão as árvores estão todas cheias de folhas e atenua o ruído. No Inverno o som propaga-se com mais facilidade.

Entrevistador: E relativamente ao piso, nota diferença no ruído, quando o piso esta mais molhado (quando chove)

Inquirido: Não me apercebo muito. O ruído das motas e dos veículos pesados quando buzina é bastante incomodativo.

Entrevistador: No seu entender como poderia ser resolvido o problema do ambiente sonoro, na vizinhança próxima à sua residência?

Inquirido: Eu pessoalmente acho que com taludes de plantação de arvoredos, ou de então com as barreiras acústicas. Mas para mim, e sobretudo entre a Ponte da Arrábida e este local, se a obra não for cara, a solução era o tapamento em túnel da VCI, aproveitando a parte superior com jardim, até porque existe altura suficiente. Se reparar neste cruzamento da Av. da Boavista, se continuassem esse tabuleiro, o problema do ruído resolvia-se. E lá em cima, com a chegada às Antas é pior. Porque a auto-estrada é mais estreita e tem betão de um lado e noutro. E não se percebe porque não foi coberta aí com túnel, para que as pessoas lá tivessem menos ruídos. Na altura tive colegas que faziam parte da Comissão da VCI, eles queixavam-se, e eu fui lá a casa, e ainda é pior do que aqui. Não se percebe porque as Estradas de Portugal não faz a cobertura desta auto-estrada, pelo menos em alguns pontos. E não se percebe porque ali na Prelada não fizeram um rebaixamento da própria auto-estrada, entrar em túnel, minimizando-se o ruído.

Entrevistador: Qual é a sua opinião relativamente ao ambiente sonoro da cidade do Porto?

Inquirido: É uma cidade terrível em termos de mobilidade, é uma cidade cheia de automóveis, parece muito pior que Lisboa. Anda-se lá muito mais à vontade, circula-se lá muito mais à vontade, excepto nas zonas com ruas mais estreitas. Ir daqui para a baixa é terrível, temos o metro. Existem forças políticas que são contra o metro na Boavista, o que me parece um perfeito disparate, porque a Boavista, sendo a maior avenida da cidade do Porto, deveria ter metro para servir toda esta população. Eu tenho três carros na garagem, e não ia para a cidade de carro, se tivesse aqui o metro à porta. Tenho uma estação de metro, a 500 ou 700 metros de casa, e por isso não me vou deslocar a pé para ir de metro.

Entrevistador: Já abordamos o tema seguinte, que é a natureza da experiência diária com os transportes públicos.

Inquirido: Exactamente, eu vou para a faculdade de automóvel, fazer 8 quilómetros de automóvel porque não tenho metro à porta. Parece que o metro é para os desgraçadinhos, mas não é assim, serve para todas as classes sociais e é um bom transporte.

Entrevistador: Descreva qual é o ambiente sonoro (mas se quiser poder abordar outros parâmetros) onde gostaria de viver.

Inquirido : Eu confesso, mas se me esta a fazer a pergunta relativamente à cidade do Porto, não troco este local por sítio nenhum. Podia ir lá para baixo, para ao pé do rio Douro, não desgostaria. Este lugar para mim é um sítio ótimo, o único inconveniente é o ruído da VCI. Ou como já estive o azar de ter aqui uma discoteca, até às 3- 4 da manhã. Não se percebe como é que as autarquias autorizam isto.

Entrevistador: E no que respeita à poluição do ar?

Inquirido: Claro, claro, isso vem em consequência de toda a poluição dos pneus, dos fumos, é terrível. Os vidros das janelas e as varandas têm de ser limpas constantemente. Deve ser uma das piores zonas de poluição, se fizerem uma medição deve ser uma das piores do país. Aliás parece que é, segundo li na comunicação social, a pior é a avenida da liberdade em Lisboa, e esta aqui não deve andar longe disso.

Entrevistador: Agora fale-me por favor dos sons que gosta

Inquirido : Eu gosto de todos os sons da natureza, gosto de música clássica, e sou ao contrário avesso ao ruído. Gosto muito de tranquilidade, gosto de todos os sons da natureza que são fantásticos

Entrevistador: E relativamente ao sons dos automóveis?

Inquirido: Suportou-os, é uma necessidade, tenho de os suportar

Entrevistador: E o som das motorizadas?

Inquirido: Odeio. Embora quando era miúdo, tinha uma e gostava de fazer mais barulho que o normal.

Entrevistador: E o som dos autocarros, e dos veículos pesados?

Inquirido: Suporto, agora os autocarros são mais amigos do ambiente, fazem menos barulho, são movidos a gás, são melhores. Os veículos pesados, são uma coisa horrorosa

Entrevistador: E o som proveniente da passagem de comboios?

Inquirido: Eu gosto de viajar de comboio, mais pela natureza, mas no nosso país tenho pena que pouco se tenha investido nas linhas ferroviárias.

Entrevistador: E o som do metro?

Inquirido : O som do metro não gosto, não vivo perto do metro, não sei bem, não gosto daquele som, é subterrâneo, mas à superfície compara-se à vulgaridade dos automóveis.

Entrevistador: E o som dos aviões?

Inquirido : Os aviões é outro mal necessário, temos de o suportar. Eles aqui passam já baixos. Mas nada de aflição, já vão com as turbinas em descarga, para aterrar. Já vão muito mais calmos.

Entrevista 04

Local: Rua da Argentina, localizada no Bairro Social de Bessa Leite. A distância do prédio em que mora à VCI é aproximadamente 50 metros, no entanto a distancia a uma estrada de acesso à VCI é de cerca de 10 metros. Senhora reformada entre os 60-65 anos

Entrevistador: Gostaria que me dissesse, se esta contente com a sua residência, com a estrutura, com as paredes, do edifício em que habita, não ouve ruídos? Se esta descontente com ambiente sonoro, iluminação, da sua residência?

Inquirido: Nós viemos para aqui estrear este Bairro Social, estávamos a pagar renda, e depois passados dez anos, obrigaram-nos a comprar a casa. Em relação à habitação, gosto, tenho sol nas traseiras e sol de manhã. Gosto da casa, porque tem muita luz e muito sol. Existe só um inconveniente. O meu marido tem oitenta anos e eu 65, e existe um inconveniente das escadas. Se eu fosse mais nova, comprava casa noutra sítio porque os bairros sociais têm uma má conotação por causa da droga. Este está considerado como um dos melhores bairros, próximo dos hotéis da Avenida da Boavista, está numa zona muito boa e existem pessoas muito honestas, mas quando se fala em bairro social existe sempre o inconveniente da ligação à droga.

Entrevistador: E relativamente as condições sonoras dentro da sua residência (dia/entardecer/noite aos dias de semana e fim de semana)?

Inquirido: Por causa do ruído fui obrigada a colocar janelas duplas, pois não podia com o barulho, já nos habituamos um pouco, mas quando viemos para aqui, o barulho era ensurdecedor, a VCI tinha duas vias, e agora tem três, mais a via de acesso. Isto incomoda bastante, as paredes estão rachadas e com fissuras. Já foram reparadas várias vezes.

Entrevistador: Qual é que acha que é a origem das rachas ou fissuras na sua residência?

Inquirido: Pode ser realmente da circulação de tráfego na VCI, mas não tenho conhecimentos técnicos sobre o assunto, o administrador disse que tinham que colocar qualquer coisa para corta o som. Uma barreira de som. Mas afinal nunca fizeram nada. Este edifício está virado para a auto-estrada.

Entrevistador: Mas aqui a VCI incomoda só devido ao ruído? Não tem percepção de outras coisas?

Inquirido: É um ruído de que já estamos habituados a ele. As casas que estão viradas para a VCI, moro no 3 andar e já coloquei janelas duplas. Eu e todos os vizinhos temos salas e cozinhas viradas para a VCI. Este edifício é todo igual.

Entrevistador: As rachas só aparecem num dos lados do prédio, ou noutras fachadas?

Inquirido: Não tenho também no quarto, talvez seja dos materiais, não percebo nada de construção?

Entrevistador: O que acha das condições sonoras no exterior, próximo da sua residência, em que costuma passear a pé?

Inquirido: Toda a gente se queixa, dos carros, do barulho, é muito barulho.

Entrevistador: Relativamente à VCI nota diferença entre o dia, entardecer, noite, aos dias de semana e fim-de-semana?

Inquirido: Nota-se diferença, é mais à hora de saída dos empregos e ao sábado. Eu não estou cá à noite. A noite começa-se a ouvir menos ruído.

Entrevistador: No seu entender como deveria ser resolvido o problema de ruído na VCI?

Inquirido: Segundo os meus vizinhos, disseram nos que prometeram barreiras de som, e que isso iria dar resultado.

Entrevistador: E. aqui não tem radares próximo?

Inquirido: Tem mais adiante.

Entrevistador: Notou diferença no ruído da VCI de há 5 anos para cá, quando a estrada tinha 4 vias.

Inquirido: Evidentemente, o transito aumentou. Quanto mais trânsito, mais ruído.

Entrevistador: E qual é a sua opinião relativamente ao ambiente sonoro da cidade do Porto?

Inquirido: O Porto é pequeno, ruas estreitas, por vezes as pessoas enervam-se e chocam umas com as outras. Esta um bocadinho atrofiada, Lisboa é diferente tem mais avenidas, há mais espaço.

Entrevistador: Outro aspecto relativamente ao seu prédio. Já me tinha falado que tinha colocado janelas duplas por causa dos sons do ruído da rua

Entrevistador: E o ruído proveniente dos vizinhos?

Inquirido: Nós somos oito no prédio, temos sempre esse cuidado. Eu tenho soalho flutuante. Ando em casa com chinelos por causa do ruído: não temos esse problema. Ninguém se queixou nas reuniões.

Entrevistador: E relativamente ao isolamento do prédio.

Inquirido: Quando fazem obras ouve-se. Há pessoas aqui que puseram tijoleira, só que o meu soalho é flutuante e faz muito mais barulho.

Entrevistador: Relativamente à VCI, o que se nota é somente o ruído, não nota se as janelas da sua casa estão mais sujas?

Entrevistador: Pois sim, a poluição. Já mudei muitas vezes de cortinas, até cheira mal. Evito abrir as janelas. Só abro a janela da marquise um bocadinho. Já mudei as cortinas muitas vezes e quando as lavo e tiro da água, a água fica muito negra por causa da poluição. Lavo-as várias vezes e aquilo que nos respiramos

Entrevistador: Qual seria o ambiente onde gostaria de viver?

Inquirido: Eu gostaria de paz, nas ruas da cidade onde vivo. Gostava de viver afastada da cidade. O meu marido é um homem da cidade, gosta de centros comerciais, movimento. Na minha infância gostava imenso do campo, dos carros de boi. Gostava de viver numa vila mais clama, na cidade não se conhecem as pessoas, e discutem muito umas com as outras.

Entrevistador: Qual é a natureza da experiência diária com os transportes públicos?

Inquirido: Eu não tenho carro, ando de transportes e demoro 10 minutos a chegar a paragem. Temos metro, mas longe, e prefiro apanhar o dois transportes para ir a Baixa e vou para a baixa

Entrevistador: Neste bairro existem cafés?

Inquirido: Sim, sim, existe uma associação de moradores, bancos, a igreja do Lourelo, mercearias, supermercados. Não muito proximos, são percursos que demoram 10 minutos.

Entrevistador: Como consegue distinguir os sons dos automóveis?

Inquirido: Quem vive na cidade, habitua-se. A pessoa não dá conta. O que mais me aborrece é quando deitam aquela fumarada toda. Tenho de tapar a boca, por causa das alergias

Entrevistador: . E o som das motas?

Inquirido: Isso irrita-me, faziam brincadeiras a fazer corridas, até que se telefonou a polícia, e deixaram de fazer isso:

Entrevistador: E os sons de que gosta mais de ouvir?

Inquirido: Se for música, gosto de musica suave, que me dê tranquilidade. Não gosto de rock. Existem grupos que fazem muito barulho e não é muito agradável.

Entrevistador: E os sons da natureza?

Inquirido: Temos aqui um melro que canta e acorda-me a meio da noite. E os pássaros da manhã cedinho, também. Eu não deixo as persianas fechadas, tenho os candeeiros da rua que me iluminam a casa. Às cinco da manhã gosto muito de ouvir os passarinhos. A natureza aproxima muito de Deus. A natureza é bela. Aprecio mais, porque estou reformada.

Entrevistador: E os veículos pesados?

Inquirido: Nota-se a trepidação dos motores, o barulho é diferente.

Entrevistador: E o som dos comboios?

Inquirido: Não temos contacto com os comboios, é coisa que não me afecta

Entrevistador: E o som dos aviões?

Inquirido: Vivo na cidade, não me afecta muito.

**Anexo V: Caracterização física e psicoacústica dos estímulos
sonoros utilizados na avaliação da estrutura cognitiva dos
indivíduos face às fontes de ruído de tráfego**

Som 1 : Passagem de um autocarro

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 23,6 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	22,5	24,6	sone
Loudness (Mean):	19,1	20,2	sone
Inst.Loudness (Mean):	19,2	20,3	sone
Sharpness (Mean):	1,92	2,03	acum
Roughness:	2,35	2,32	asper
Fluctuation Strength:	1,09	1,22	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	75,7	76,4	dB
A weighted	66,8	68,3	dB
B weighted	69,9	70,9	dB
C weighted	73,4	74,1	dB
D weighted	71,2	72,4	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	90,2	91,8	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	91,8	dB/20,0 μ Pa
X	3,975	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	32,1	35,5	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	19,1	20,2	sone
RMS :	19,7	21,2	sone
Standard Dev.:	4,68	6,55	sone
N(5):	28,1	31,3	sone
N(10):	25,7	29,8	sone
N(50):	18,1	19	sone

*** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	37,3	40,1	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	19,2	20,3	sone
RMS :	19,8	21,3	sone
Standard Dev.:	4,68	6,52	sone
N(5):	28,1	31,7	sone
N(10):	25,8	30	sone
N(50):	18,1	19	sone

*** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)

	Left	Right	
Max.:	6,02	5,91	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	1,92	2,03	acum
Standard Dev.:	0,438	0,406	acum
N(5):	2,63	2,72	acum
N(10):	2,55	2,58	acum
N(50):	1,84	1,99	acum

*** Cursor Reading: Statistical octave

	Left	Right	
Total:	73,5	74,1	dB
Max.:	66,1	66,5	dB
Min.:	33,2	34,7	dB
Mean:	56,5	57,3	dB
Standard Dev.:	54,9	55,1	dB
N(5):	65,9	66,1	dB
N(10):	65,4	65,5	dB
N(50):	55,3	56,4	dB

Som 2 : Passagem de um avião

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 43,6 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	44,8	42,3	sone
Loudness (Mean):	36,9	34,8	sone
Inst.Loudness (Mean):	36,9	34,9	sone
Sharpness (Mean):	2,21	2,14	acum
Roughness:	1,68	1,81	asper
Fluctuation Strength:	1,16	1,17	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	84,8	84,6	dB
A weighted	77,4	76,4	dB
B weighted	80,6	80,1	dB
C weighted	83,2	83	dB
D weighted	81,7	81	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	103	103	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	104	dB/20,0μ Pa
X	9,735	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	65,4	62,3	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	36,9	34,8	sone
RMS :	39,3	37,1	sone
Standard Dev.:	13,5	12,8	sone
N(5):	59,7	56,9	sone
N(10):	58,3	54,3	sone
N(50):	32,2	31,7	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	72,1	69	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	36,9	34,9	sone
RMS :	39,3	37,2	sone
Standard Dev.:	13,6	12,9	sone
N(5):	60,6	57,2	sone
N(10):	58,3	54,6	sone
N(50):	32,3	31,4	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	5,06	5,46	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	2,21	2,14	acum
Standard Dev.:	0,789	0,832	acum
N(5):	3,79	3,66	acum
N(10):	3,51	3,5	acum
N(50):	1,82	1,74	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	83,7	83,6	dB
Max.:	72,9	72,7	dB
Min.:	19	18,2	dB
Mean:	67,5	67,2	dB
Standard Dev.:	63,5	63,8	dB
N(5):	72,4	72,5	dB
N(10):	72	72,2	dB
N(50):	69,7	68,1	dB

Som 3 : Passagem de um comboio

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 36,3 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	37,1	35,4	sone
Loudness (Mean):	33	31,7	sone
Inst.Loudness (Mean):	33,1	31,8	sone
Sharpness (Mean):	2,47	2,42	acum
Roughness:	1,65	1,51	asper
Fluctuation Strength:	1,71	1,53	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	81,6	81,3	dB
A weighted	73,9	72,9	dB
B weighted	78	77,4	dB
C weighted	80,6	80,3	dB
D weighted	79,1	78,4	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	95,6	95,3	dB

*** Cursor Reading: Minimum Value

Y Right	-29,6	dB/20,0μ Pa
X	1,01	s

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	95,3	dB/20,0μ Pa
X	8,36	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	52,3	45,2	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	33	31,7	sone
RMS :	33,9	32,7	sone
Standard Dev.:	7,73	7,99	sone
N(5):	44,4	41,3	sone
N(10):	42,5	40	sone
N(50):	34	34,2	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	62,1	51,9	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	33,1	31,8	sone
RMS :	34,1	32,8	sone
Standard Dev.:	8,39	8,35	sone
N(5):	47,4	43,7	sone
N(10):	44,1	41,2	sone
N(50):	33,2	33,4	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	6,03	6,05	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	2,47	2,42	acum
Standard Dev.:	0,367	0,374	acum
N(5):	2,95	2,9	acum
N(10):	2,85	2,83	acum
N(50):	2,54	2,51	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	81	80,7	dB
Max.:	73,8	74	dB
Min.:	37,1	35,4	dB
Mean:	64,1	63,7	dB
Standard Dev.:	62	61,9	dB
N(5):	72,3	71,5	dB
N(10):	71,1	70,9	dB
N(50):	63	62,7	dB

Som 4 : Tráfego rodoviário na VCI

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 37,6 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	39,4	35,2	sone
Loudness (Mean):	36,9	32,9	sone
Inst.Loudness (Mean):	36,9	33	sone
Sharpness (Mean):	2,19	1,98	acum
Roughness:	1,81	1,71	asper
Fluctuation Strength:	0,788	0,725	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	86,5	88	dB
A weighted	75,8	73,9	dB
B weighted	79,6	79,1	dB
C weighted	84,5	85	dB
D weighted	80,2	79	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	97,2	97,6	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	97,6	dB/20,0μ Pa
X	2,11	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	51	48,4	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	36,9	32,9	sone
RMS :	37,4	33,5	sone
Standard Dev.:	6,08	5,79	sone
N(5):	46,6	41,2	sone
N(10):	45,4	40,4	sone
N(50):	34,7	30,9	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	61	54,2	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	36,9	33	sone
RMS :	37,5	33,5	sone
Standard Dev.:	6,39	6,09	sone
N(5):	47,7	42,6	sone
N(10):	46	41,2	sone
N(50):	35	31,5	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	4,17	4,99	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	2,19	1,98	acum
Standard Dev.:	0,257	0,163	acum
N(5):	2,68	2,22	acum
N(10):	2,53	2,17	acum
N(50):	2,11	1,98	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	85,4	85,8	dB
Max.:	79,4	80,2	dB
Min.:	14,4	10,3	dB
Mean:	67,6	67,4	dB
Standard Dev.:	67,7	68,5	dB
N(5):	78,9	79,2	dB
N(10):	76,1	76,7	dB
N(50):	65,3	64,6	dB

Som 5 : Passagem de um eléctrico antigo

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 30,6 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	31,1	30	sone
Loudness (Mean):	27,9	26	sone
Inst.Loudness (Mean):	28	26,2	sone
Sharpness (Mean):	2,27	2,14	acum
Roughness:	1,67	2,26	asper
Fluctuation Strength:	1,93	2,15	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	80,6	78	dB
A weighted	72,1	71,3	dB
B weighted	74,6	74,1	dB
C weighted	77,1	76,2	dB
D weighted	75,7	75,1	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	94	93,6	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	93,6	dB/20,0 μ Pa
X	1,208	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	41,3	42	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	27,9	26	sone
RMS :	28,7	27,1	sone
Standard Dev.:	7	7,82	sone
N(5):	38,5	39,4	sone
N(10):	37,7	37,6	sone
N(50):	26,6	25,2	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	44,2	45,9	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	28	26,2	sone
RMS :	28,9	27,3	sone
Standard Dev.:	6,9	7,89	sone
N(5):	39,4	39,9	sone
N(10):	37,9	37,6	sone
N(50):	27	26	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	6,1	6,01	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	2,27	2,14	acum
Standard Dev.:	0,492	0,611	acum
N(5):	3,2	3,15	acum
N(10):	2,98	2,99	acum
N(50):	2,19	2,15	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	76,5	76,3	dB
Max.:	66,1	66,3	dB
Min.:	33,1	32,6	dB
Mean:	60,3	60,1	dB
Standard Dev.:	56,1	56,1	dB
N(5):	65,9	65,6	dB
N(10):	65,8	65	dB
N(50):	61,9	61,9	dB

Som 6: Tráfego rodoviário no Cais do Sodré

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 25,2 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	24,5	25,6	sone
Loudness (Mean):	23,5	24,5	sone
Inst.Loudness (Mean):	23,5	24,5	sone
Sharpness (Mean):	1,92	1,92	acum
Roughness:	1,33	1,33	asper
Fluctuation Strength:	0,635	0,648	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
Total	0,334	0,338	Pa
unweighted	85,5	85,6	dB
A weighted	67,5	68,3	dB
B weighted	74,4	74,7	dB
C weighted	81,7	81,9	dB
D weighted	74	74,4	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	92,4	92,6	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	92,9	dB/20,0μ Pa
X	158,7μ	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	31,5	32,1	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	23,5	24,5	sone
RMS :	23,6	24,6	sone
Standard Dev.:	1,99	2	sone
N(5):	27,1	28	sone
N(10):	26,3	27,2	sone
N(50):	23,1	24,4	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	34,8	36	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	23,5	24,5	sone
RMS :	23,6	24,6	sone
Standard Dev.:	2,43	2,45	sone
N(5):	27,8	28,8	sone
N(10):	26,7	27,7	sone
N(50):	23,2	24,3	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	5,08	5,41	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	1,92	1,92	acum
Standard Dev.:	0,209	0,167	acum
N(5):	2,32	2,2	acum
N(10):	2,2	2,11	acum
N(50):	1,89	1,91	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	84,3	84,4	dB
Max.:	80,8	80,9	dB
Min.:	15,1	13,2	dB
Mean:	64,9	65,1	dB
Standard Dev.:	67,7	67,7	dB
N(5):	76,2	76,3	dB
N(10):	74,2	74,3	dB
N(50):	59,9	60,5	dB

Som 7: Passagem de motociclo com ruído de escape

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 39,5 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	43,4	33,1	sone
Loudness (Mean):	39,2	31	sone
Inst.Loudness (Mean):	39,4	31,3	sone
Sharpness (Mean):	2,5	1,95	acum
Roughness:	3,54	2,18	asper
Fluctuation Strength:	1,2	1,06	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

unweighted	85,7	84,8	dB
A weighted	77,5	73,5	dB
B weighted	81,2	78,1	dB
C weighted	83,9	82,5	dB
D weighted	81,9	78,2	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	96,9	96,7	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	96,7	dB/20,0μ Pa
X	1,997	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	59,1	45,8	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	39,2	31	sone
RMS :	39,9	31,3	sone
Standard Dev.:	7,43	3,79	sone
N(5):	48,8	35,6	sone
N(10):	48	34,9	sone
N(50):	39,1	30,8	sone

*** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	67,7	52,1	sones
Min.:	0	0	sones
Mean:	39,4	31,3	sones
RMS :	40,1	31,5	sones
Standard Dev.:	7,5	3,86	sones
N(5):	50,9	37,1	sones
N(10):	48,8	35,4	sones
N(50):	38,7	30,8	sones

*** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)

	Left	Right	
Max.:	5,85	4,43	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	2,5	1,95	acum
Standard Dev.:	0,531	0,277	acum
N(5):	3,51	2,37	acum
N(10):	3,19	2,2	acum
N(50):	2,39	1,9	acum

*** Cursor Reading: Statistical octave

	Left	Right	
Total:	85	83,9	dB
Max.:	76,8	76,5	dB
Min.:	23,8	14,1	dB
Mean:	67,8	66,1	dB
Standard Dev.:	66,5	66,1	dB
N(5):	76,4	76,4	dB
N(10):	76,2	76	dB
N(50):	64,1	63,3	dB

Som 8: Tráfego rodoviário na 2ª circular

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 24,3 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	23,7	24,3	sone
Loudness (Mean):	20,6	22,4	sone
Inst.Loudness (Mean):	20,6	22,4	sone
Sharpness (Mean):	1,87	1,89	acum
Roughness:	1,86	1,72	asper
Fluctuation Strength:	1,1	1	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	74,8	75,5	dB
A weighted	69,1	70,3	dB
B weighted	71,1	72,2	dB
C weighted	73,5	74,3	dB
D weighted	72,3	74,1	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	91,5	92,8	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	96,2	dB/20,0μ Pa
X	59,77	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	39,8	35,4	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	20,6	22,4	sone
RMS :	21,1	22,7	sone
Standard Dev.:	4,66	3,98	sone
N(5):	29	28,8	sone
N(10):	26,5	27,4	sone
N(50):	20,6	22,3	sone

*** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	42,7	38,9	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	20,6	22,4	sone
RMS :	21,2	22,8	sone
Standard Dev.:	4,8	4,14	sone
N(5):	29,1	29,4	sone
N(10):	26,7	27,7	sone
N(50):	20,4	22,2	sone

*** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)

	Left	Right	
Max.:	6,06	6,37	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	1,87	1,89	acum
Standard Dev.:	0,388	0,209	acum
N(5):	2,46	2,2	acum
N(10):	2,27	2,13	acum
N(50):	1,87	1,9	acum

*** Cursor Reading: Statistical octave

	Left	Right	
Total:	73,2	73,7	dB
Max.:	64,9	65,3	dB
Min.:	34,5	30,8	dB
Mean:	56,8	57,3	dB
Standard Dev.:	53,3	54	dB
N(5):	63,4	63,8	dB
N(10):	63	63,5	dB
N(50):	57,4	58,1	dB

Som 9: Tráfego rodoviário na Rua do Ouro

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 42,4 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	43,8	40,8	sone
Loudness (Mean):	41,2	38,8	sone
Inst.Loudness (Mean):	41,2	38,9	sone
Sharpness (Mean):	2,38	2,53	acum
Roughness:	1,72	1,65	asper
Fluctuation Strength:	0,784	0,732	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	86,7	86,2	dB
A weighted	77,5	76,2	dB
B weighted	81,1	80,1	dB
C weighted	84,8	84,3	dB
D weighted	81,5	80,4	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	97,3	97,2	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	97,2	dB/20,0μ Pa
X	12,81	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	58,8	50,3	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	41,2	38,8	sone
RMS :	41,8	39,4	sone
Standard Dev.:	6,86	6,28	sone
N(5):	51,8	47,2	sone
N(10):	49,3	46,3	sone
N(50):	41,4	39,9	sone

*** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	63,4	55,4	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	41,2	38,9	sone
RMS :	41,8	39,4	sone
Standard Dev.:	7,06	6,47	sone
N(5):	52,4	48,1	sone
N(10):	50,3	46,5	sone
N(50):	41,4	39,6	sone

*** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)

	Left	Right	
Max.:	5,28	5,54	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	2,38	2,53	acum
Standard Dev.:	0,344	0,228	acum
N(5):	3,13	2,93	acum
N(10):	2,82	2,83	acum
N(50):	2,3	2,52	acum

*** Cursor Reading: Statistical octave

	Left	Right	
Total:	85,6	85,3	dB
Max.:	76,9	76,9	dB
Min.:	21,7	24,2	dB
Mean:	68,8	68,3	dB
Standard Dev.:	66,5	66,5	dB
N(5):	76,3	76,4	dB
N(10):	75,6	75,7	dB
N(50):	69,5	68,2	dB

Som 10: Passagem do metro do Porto

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 16,3 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	16,3	16,2	sone
Loudness (Mean):	15	15,3	sone
Inst.Loudness (Mean):	15	15,3	sone
Sharpness (Mean):	1,82	1,81	acum
Roughness:	1,96	1,78	asper
Fluctuation Strength:	0,862	0,695	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

unweighted	78,9	76,7	dB
A weighted	61,9	62,5	dB
B weighted	65,8	65,6	dB
C weighted	72,7	71,4	dB
D weighted	66,4	66,1	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	92,1	90,5	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	-49	dB/20,0 μ Pa
X	15,254	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	22,1	20,5	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	15	15,3	sone
RMS :	15,1	15,4	sone
Standard Dev.:	2,33	1,77	sone
N(5):	19,8	18,5	sone
N(10):	18,3	17,7	sone
N(50):	14,8	15,2	sone

*** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	25	23,9	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	15	15,3	sone
RMS :	15,2	15,4	sone
Standard Dev.:	2,53	2	sone
N(5):	20,1	18,9	sone
N(10):	18,5	18	sone
N(50):	14,7	15,2	sone

*** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)

	Left	Right	
Max.:	6,38	5,01	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	1,82	1,81	acum
Standard Dev.:	0,275	0,209	acum
N(5):	2,36	2,2	acum
N(10):	2,12	2,1	acum
N(50):	1,76	1,77	acum

*** Cursor Reading: Statistical octave

	Left	Right	
Total:	70,9	70,6	dB
Max.:	64,2	63,7	dB
Min.:	7,77	6,11	dB
Mean:	53,5	53,2	dB
Standard Dev.:	52,8	52,4	dB
N(5):	62,8	62,9	dB
N(10):	62	61,4	dB
N(50):	51,8	51,5	dB

Som 11: Passagem de um eléctrico moderno

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 47,8 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	46,9	48,6	sone
Loudness (Mean):	41,7	44,4	sone
Inst.Loudness (Mean):	41,8	44,5	sone
Sharpness (Mean):	2,27	2,44	acum
Roughness:	1,79	1,64	asper
Fluctuation Strength:	1,09	1,01	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	85,9	86,1	dB
A weighted	79,3	79,8	dB
B weighted	82,5	83,1	dB
C weighted	85	85,4	dB
D weighted	82,6	83,2	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	97,3	97,3	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	97,5	dB/20,0 μ Pa
X	1,978	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	65	65,1	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	41,7	44,4	sone
RMS :	43	45,3	sone
Standard Dev.:	10,7	9,3	sone
N(5):	60,5	59	sone
N(10):	57,7	56,5	sone
N(50):	39,3	46,1	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	75,9	73,3	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	41,8	44,5	sone
RMS :	43,2	45,5	sone
Standard Dev.:	10,7	9,42	sone
N(5):	61,3	59,8	sone
N(10):	57,8	56,8	sone
N(50):	39,2	45,6	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	6,07	5,99	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	2,27	2,44	acum
Standard Dev.:	0,476	0,353	acum
N(5):	3,29	3,16	acum
N(10):	2,96	2,99	acum
N(50):	2,17	2,36	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	85,2	85,6	dB
Max.:	79,6	79,8	dB
Min.:	42,9	41,4	dB
Mean:	68	68,5	dB
Standard Dev.:	66,6	66,9	dB
N(5):	75,5	75,8	dB
N(10):	75,3	75,2	dB
N(50):	68,3	68,6	dB

Som 12 – Passagem de motociclo

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 15,6 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	15,9	15,2	sone
Loudness (Mean):	11,6	11,6	sone
Inst.Loudness (Mean):	11,6	11,7	sone
Sharpness (Mean):	1,44	1,54	acum
Roughness:	2,39	2,15	asper
Fluctuation Strength:	2,46	2,36	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

unweighted	71,5	71,9	dB
A weighted	60,1	58,9	dB
B weighted	65,7	65,8	dB
C weighted	70,7	71	dB
D weighted	66,4	65,9	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	84,9	86,6	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	86,6	dB/20,0μ Pa
X	2,009	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	25,5	24,5	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	11,6	11,6	sone
RMS :	12,9	12,8	sone
Standard Dev.:	5,77	5,34	sone
N(5):	23,4	22,7	sone
N(10):	22,1	20,6	sone
N(50):	9,93	10	sone

*** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	28,4	26,7	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	11,6	11,7	sone
RMS :	13	12,9	sone
Standard Dev.:	5,82	5,35	sone
N(5):	23,6	22,7	sone
N(10):	22	20,5	sone
N(50):	10,1	9,94	sone

*** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)

	Left	Right	
Max.:	3,93	4,5	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	1,44	1,54	acum
Standard Dev.:	0,48	0,428	acum
N(5):	2,39	2,39	acum
N(10):	2,18	2,21	acum
N(50):	1,33	1,41	acum

*** Cursor Reading: Statistical octave

	Left	Right	
Total:	71,2	71,6	dB
Max.:	68	68,4	dB
Min.:	3,04	5,74	dB
Mean:	51,9	51,8	dB
Standard Dev.:	54,6	55,2	dB
N(5):	66,5	67,1	dB
N(10):	54,5	54,9	dB
N(50):	49,4	48,7	dB

**Anexo VI: Caracterização física e psicoacústica das medidas de
minimização de ruído**

Barreira_Som1

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 9,37 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right
Stationary Loudness:	9,41	9,33 sone
Loudness (Mean):	8,7	8,63 sone
Inst.Loudness (Mean):	8,67	8,6 sone
Sharpness (Mean):	0,721	0,727 acum
Roughness:	1,81	1,87 asper
Fluctuation Strength:	1,37	1,37 vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right
unweighted	71,5	71,4 dB
A weighted	54,4	54,3 dB
B weighted	62	61,9 dB
C weighted	67,6	67,5 dB
D weighted	61,3	61,1 dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right
Peak level	83,6	83,2 dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	83,2 dB/20,0μ Pa
X	9,744 s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right
Max.:	12,6	12,2 sone
Min.:	0,344	0,352 sone
Mean:	8,7	8,63 sone
RMS :	8,83	8,76 sone
Standard Dev.:	1,55	1,53 sone
N(5):	10,9	10,7 sone
N(10):	10,5	10,4 sone
N(50):	8,77	8,72 sone

*** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right
Max.:	16,6	15,7 sone

Min.:	0,0876	0,106	son
Mean:	8,67	8,6	son
RMS :	8,82	8,75	son
Standard Dev.:	1,65	1,63	son
N(5):	11,1	11	son
N(10):	10,6	10,5	son
N(50):	8,72	8,66	son

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness
(Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	1,73	1,68	acum
Min.:	0,324	0,318	acum
Mean:	0,721	0,727	acum
Standard Dev.:	0,142	0,14	acum
N(5):	0,878	0,881	acum
N(10):	0,803	0,808	acum
N(50):	0,706	0,713	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	68,7	68,6	dB
Max.:	60,4	60,4	dB
Min.:	11,8	10,5	dB
Mean:	50,5	50,4	dB
Standard Dev.:	51,3	51,2	dB
N(5):	59,9	60,1	dB
N(10):	59,8	59,9	dB
N(50):	46,9	46,9	dB

Barreira_Som2

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 7,78 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right
Stationary Loudness:	7,74	7,81 sone
Loudness (Mean):	6,86	6,92 sone
Inst.Loudness (Mean):	6,84	6,9 sone
Sharpness (Mean):	0,808	0,813 acum
Roughness:	1,71	1,59 asper
Fluctuation Strength:	1,14	1,17 vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right
unweighted	66,3	66,4 dB
A weighted	52	52,1 dB
B weighted	57,5	57,6 dB
C weighted	62,4	62,5 dB
D weighted	57,1	57,2 dB
	65	65,1 dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right
Peak level	78,4	78,6 dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right 78,6 dB/20,0μ Pa
X 27,19 s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right
Max.:	12,5	12,6 sone
Min.:	0,345	0,367 sone
Mean:	6,86	6,92 sone
RMS :	7,06	7,12 sone
Standard Dev.:	1,66	1,68 sone
N(5):	9,8	9,91 sone
N(10):	9,1	9,18 sone
N(50):	6,76	6,82 sone

*** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right
Max.:	15,2	14,8 sone

Min.:	0,0611	0,079	sone
Mean:	6,84	6,9	sone
RMS :	7,05	7,12	sone
Standard Dev.:	1,74	1,76	sone
N(5):	9,9	10	sone
N(10):	9,14	9,24	sone
N(50):	6,66	6,72	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	1,77	1,74	acum
Min.:	0,422	0,391	acum
Mean:	0,808	0,813	acum
Standard Dev.:	0,126	0,127	acum
N(5):	0,913	0,917	acum
N(10):	0,88	0,886	acum
N(50):	0,803	0,808	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	62,9	63,2	dB
Max.:	55,2	55,4	dB
Min.:	11,2	11,7	dB
Mean:	45,4	45,6	dB
Standard Dev.:	44,9	45,2	dB
N(5):	54,1	54,4	dB
N(10):	53,6	53,9	dB
N(50):	43,6	43,8	dB

Barreira_Som3

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

Binaural Loudness: 10,3 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	10,3	10,3	sone
Loudness (Mean):	9,67	9,7	sone
Inst.Loudness (Mean):	9,63	9,65	sone
Sharpness (Mean):	0,814	0,822	acum
Roughness:	1,89	2,21	asper
Fluctuation Strength:	1,44	1,41	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	73,9	73,9	dB
A weighted	55,5	55,5	dB
B weighted	63,8	63,8	dB
C weighted	70	70	dB
D weighted	62,9	62,9	dB
	72,6	72,6	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	86,6	86,2	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right 86,2 dB/20,0 μ Pa
X 13,98 s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	13,8	13,9	sone
Min.:	0,409	0,388	sone
Mean:	9,67	9,7	sone
RMS :	9,79	9,81	sone
Standard Dev.:	1,48	1,49	sone
N(5):	12	12	sone
N(10):	11,4	11,5	sone
N(50):	9,62	9,65	sone

*** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	15,4	15,7	sone

Min.:	0,105	0,107	sone
Mean:	9,63	9,65	sone
RMS :	9,76	9,79	sone
Standard Dev.:	1,58	1,6	sone
N(5):	12,1	12,1	sone
N(10):	11,5	11,5	sone
N(50):	9,62	9,64	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	1,29	1,3	acum
Min.:	0,337	0,332	acum
Mean:	0,814	0,822	acum
Standard Dev.:	0,122	0,124	acum
N(5):	0,937	0,948	acum
N(10):	0,899	0,909	acum
N(50):	0,808	0,816	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	71,7	71,7	dB
Max.:	64	64	dB
Min.:	12,2	12,7	dB
Mean:	52,8	52,8	dB
Standard Dev.:	54,8	54,8	dB
N(5):	63,8	63,9	dB
N(10):	63,5	63,6	dB
N(50):	46,5	46,4	dB

Barreira_Som4

*** Cursor Reading: Binaural Loudness Values

6,56 sone

*** Cursor Reading: Sound Quality Values

	Left	Right	
Stationary Loudness:	6,59	6,52	sone
Loudness (Mean):	6,33	6,26	sone
Inst.Loudness (Mean):	6,3	6,23	sone
Sharpness (Mean):	0,809	0,82	acum
Roughness:	1,82	1,76	asper
Fluctuation Strength:	1,11	1,1	vacil

*** Cursor Reading: RMS of the time signal

	Left	Right	
unweighted	70,5	70,4	dB
A weighted	49,5	49,3	dB
B weighted	59,6	59,5	dB
C weighted	66,5	66,4	dB
D weighted	58,5	58,4	dB

*** Cursor Reading: Peak level

	Left	Right	
Peak level	84,1	83,4	dB

*** Cursor Reading: Maximum Value

Y Right	83,4	dB/20,0μ Pa
X	27,49	s

*** Cursor Reading: Statistical Loudness

	Left	Right	
Max.:	8,55	8,54	sone
Min.:	0,117	0,106	sone
Mean:	6,33	6,26	sone
RMS :	6,4	6,33	sone
Standard Dev.:	0,947	0,94	sone
N(5):	7,59	7,52	sone
N(10):	7,28	7,2	sone
N(50):	6,39	6,32	sone

*** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	10,2	9,93	sone

Min.:	0,00714	0,00602	sone
Mean:	6,3	6,23	sone
RMS :	6,38	6,31	sone
Standard Dev.:	1,02	1,01	sone
N(5):	7,71	7,62	sone
N(10):	7,37	7,3	sone
N(50):	6,36	6,3	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness (Zwicker)**

	Left	Right	
Max.:	1,73	1,84	acum
Min.:	0,305	0,36	acum
Mean:	0,809	0,82	acum
Standard Dev.:	0,119	0,12	acum
N(5):	0,915	0,929	acum
N(10):	0,89	0,904	acum
N(50):	0,808	0,819	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	68,7	68,7	dB
Max.:	63,5	63,5	dB
Min.:	9,55	10,5	dB
Mean:	48,8	48,7	dB
Standard Dev.:	52,4	52,4	dB
N(5):	62,8	62,7	dB
N(10):	60,9	60,8	dB
N(50):	39,9	39,9	dB

Betão betuminoso denso, passagem viatura a 80km/h***** Cursor Reading: Binaural Loudness Values**

Binaural Loudness: 21,2 sone

***** Cursor Reading: Sound Quality Values**

	Left	Right
Stationary Loudness:	21,1	21,2 sone
Loudness (Mean):	17,4	17,5 sone
Inst.Loudness (Mean):	17,4	17,5 sone
Sharpness (Mean):	1,16	1,16 acum
Roughness:	2	1,87 asper
Fluctuation Strength:	1,64	1,62 vacil

***** Cursor Reading: RMS of the time signal**

	Left	Right
unweighted	72,7	72,9 dB
A weighted	68,1	68,1 dB
B weighted	68,9	68,9 dB
C weighted	70,6	70,7 dB
D weighted	71,9	72 dB

***** Cursor Reading: Peak level**

	Left	Right
Peak level	87,5	87,9 dB

***** Cursor Reading: Maximum Value**

Y Right 88,1 dB/20,0 μ Pa
X 1,924 s

***** Cursor Reading: Statistical Loudness**

	Left	Right
Max.:	30,2	30,1 sone
Min.:	0	0 sone
Mean:	17,4	17,5 sone
RMS :	18,8	18,9 sone
Standard Dev.:	7,03	7,03 sone
N(5):	28,7	28,7 sone
N(10):	27,7	27,7 sone
N(50):	16,3	16,5 sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right
Max.:	33,3	32,8 sone

Min.:	0	0	sone
Mean:	17,4	17,5	sone
RMS :	18,8	18,9	sone
Standard Dev.:	7,13	7,13	sone
N(5):	29,1	29,1	sone
N(10):	27,7	27,7	sone
N(50):	16,5	16,5	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness**

	Left	Right	
Max.:	1,39	1,41	acum
Min.:	0,05	0,05	acum
Mean:	1,16	1,16	acum
Standard Dev.:	0,116	0,114	acum
N(5):	1,26	1,25	acum
N(10):	1,24	1,23	acum
N(50):	1,16	1,16	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	70,9	70,9	dB
Max.:	62,6	62,6	dB
Min.:	36,3	36,1	dB
Mean:	54,5	54,5	dB
Standard Dev.:	51	51	dB
N(5):	62,2	62,3	dB
N(10):	60,4	60,3	dB
N(50):	53,9	54,1	dB

Betão betuminoso rugoso, passagem viatura a 80km/h

***** Cursor Reading: Binaural Loudness Values**

Binaural Loudness: 17,2 sone

***** Cursor Reading: Sound Quality Values**

	Left	Right
Stationary Loudness:	17,2	17,2 sone
Loudness (Mean):	13,2	13,2 sone
Inst.Loudness (Mean):	13,2	13,2 sone
Sharpness (Mean):	1,23	1,23 acum
Roughness:	2,51	2,67 asper
Fluctuation Strength:	1,22	1,22 vacil

***** Cursor Reading: RMS of the time signal**

	Left	Right
unweighted	69,1	69,7 dB
A weighted	64	64,1 dB
B weighted	65,5	65,6 dB
C weighted	67,6	67,8 dB
D weighted	68	68 dB

***** Cursor Reading: Peak level**

	Left	Right
Peak level	85,8	86,5 dB

***** Cursor Reading: Maximum Value**

Y Right	86,9 dB/20,0μ Pa
X	3,045 s

***** Cursor Reading: Statistical Loudness**

	Left	Right
Max.:	26,7	27,3 sone
Min.:	0	0 sone
Mean:	13,2	13,2 sone
RMS :	14,8	14,8 sone
Standard Dev.:	6,62	6,66 sone
N(5):	24,8	24,7 sone
N(10):	23,4	23,4 sone
N(50):	12,5	12,4 sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right
Max.:	28,7	30 sone

Min.:	0	0	sone
Mean:	13,2	13,2	sone
RMS :	14,8	14,8	sone
Standard Dev.:	6,68	6,73	sone
N(5):	24,9	24,8	sone
N(10):	23,3	23,3	sone
N(50):	12,4	12,4	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness**

	Left	Right	
Max.:	1,87	1,89	acum
Min.:	0,05	0,05	acum
Mean:	1,23	1,23	acum
Standard Dev.:	0,17	0,171	acum
N(5):	1,45	1,44	acum
N(10):	1,39	1,39	acum
N(50):	1,21	1,21	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	68,2	68,3	dB
Max.:	62,5	62,5	dB
Min.:	36,3	36,3	dB
Mean:	51,8	51,9	dB
Standard Dev.:	48,4	48,5	dB
N(5):	56,5	56,7	dB
N(10):	56,3	56,4	dB
N(50):	52,2	52	dB

Microbetão betuminoso, passagem viatura a 80km/h

***** Cursor Reading: Binaural Loudness Values**

Binaural Loudness: 17,1 sone

***** Cursor Reading: Sound Quality Values**

	Left	Right
Stationary Loudness:	17,2	17,1 sone
Loudness (Mean):	13,6	13,6 sone
Inst.Loudness (Mean):	13,6	13,6 sone
Sharpness (Mean):	1,09	1,09 acum
Roughness:	1,87	2,04 asper
Fluctuation Strength:	1,71	1,67 vacil

***** Cursor Reading: RMS of the time signal**

	Left	Right
unweighted	73,2	73,1 dB
A weighted	64,1	64 dB
B weighted	66,9	66,9 dB
C weighted	70,2	70,1 dB
D weighted	67,9	67,9 dB

***** Cursor Reading: Peak level**

	Left	Right
Peak level	87,4	87,2 dB

***** Cursor Reading: Maximum Value**

Y Right 87,4 dB/20,0μ Pa
X 1,892 s

***** Cursor Reading: Statistical Loudness**

	Left	Right
Max.:	25,5	25,9 sone
Min.:	0	0 sone
Mean:	13,6	13,6 sone
RMS :	15,1	15 sone
Standard Dev.:	6,36	6,34 sone
N(5):	23,9	23,7 sone
N(10):	22,8	22,6 sone
N(50):	13,2	13,1 sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right
Max.:	27,4	28,4 sone

Min.:	0	0	sone
Mean:	13,6	13,6	sone
RMS :	15,1	15	sone
Standard Dev.:	6,44	6,42	sone
N(5):	24,2	24,1	sone
N(10):	22,7	22,4	sone
N(50):	13,2	13,1	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness**

	Left	Right	
Max.:	1,48	1,47	acum
Min.:	0,05	0,05	acum
Mean:	1,09	1,09	acum
Standard Dev.:	0,155	0,153	acum
N(5):	1,21	1,21	acum
N(10):	1,19	1,19	acum
N(50):	1,1	1,1	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	70,8	70,8	dB
Max.:	62,9	63	dB
Min.:	35,1	35	dB
Mean:	54	54	dB
Standard Dev.:	51,7	51,7	dB
N(5):	62,8	62,7	dB
N(10):	60,4	60,5	dB
N(50):	54,1	54,2	dB

Pavimento de betume modificado com borracha, passagem viatura a 80km/h

***** Cursor Reading: Binaural Loudness Values**

Binaural Loudness: 23,7 sone

***** Cursor Reading: Sound Quality Values**

	Left	Right	
Stationary Loudness:	23,8	23,6	sone
Loudness (Mean):	20	19,9	sone
Inst.Loudness (Mean):	20	19,9	sone
Sharpness (Mean):	1,09	1,09	acum
Roughness:	1,82	1,84	asper
Fluctuation Strength:	1,26	1,27	vacil

***** Cursor Reading: RMS of the time signal**

	Left	Right	
unweighted	78	77,3	dB
A weighted	69,1	69	dB
B weighted	70,8	70,6	dB
C weighted	74,2	73,7	dB
D weighted	74	73,8	dB

***** Cursor Reading: Peak level**

	Left	Right	
Peak level	91	90,4	dB

***** Cursor Reading: Maximum Value**

Y Right	90,4	dB/20,0μ Pa
X	1,511	s

***** Cursor Reading: Statistical Loudness**

	Left	Right	
Max.:	32,9	32,4	sone
Min.:	0	0	sone
Mean:	20	19,9	sone
RMS :	21,2	21,1	sone
Standard Dev.:	7,23	7,08	sone
N(5):	31	30,6	sone
N(10):	30	29,6	sone
N(50):	18,9	18,7	sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right	
Max.:	35,6	35	sone

Min.:	0	0	sone
Mean:	20	19,9	sone
RMS :	21,3	21,2	sone
Standard Dev.:	7,35	7,2	sone
N(5):	31,5	31	sone
N(10):	30,1	29,7	sone
N(50):	18,7	18,7	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness**

	Left	Right	
Max.:	2,32	1,52	acum
Min.:	0,05	0,05	acum
Mean:	1,09	1,09	acum
Standard Dev.:	0,129	0,129	acum
N(5):	1,21	1,22	acum
N(10):	1,19	1,2	acum
N(50):	1,1	1,09	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	74,7	73,8	dB
Max.:	68,3	66,2	dB
Min.:	36,9	36,8	dB
Mean:	58	57,5	dB
Standard Dev.:	55,5	53,8	dB
N(5):	66,2	63,4	dB
N(10):	64,4	62,6	dB
N(50):	57,9	57,7	dB

Pavimento betuminoso drenante 80 Km/h

***** Cursor Reading: Binaural Loudness Values**

Binaural Loudness: 17,7 sone

***** Cursor Reading: Sound Quality Values**

	Left	Right
Stationary Loudness:	17,7	17,7 sone
Loudness (Mean):	14,1	14,1 sone
Inst.Loudness (Mean):	14,1	14,1 sone
Sharpness (Mean):	1,67	1,67 acum
Roughness:	2,68	2,68 asper
Fluctuation Strength:	1,69	1,72 vacil

***** Cursor Reading: RMS of the time signal**

	Left	Right
unweighted	75,1	75,4 dB
A weighted	63,1	63,2 dB
B weighted	67,8	67,8 dB
C weighted	72,3	72,4 dB
D weighted	67,9	67,9 dB

***** Cursor Reading: Peak level**

	Left	Right
Peak level	87,6	88,6 dB

***** Cursor Reading: Maximum Value**

Y Right 88,9 dB/20,0μ Pa
X 9,808 s

***** Cursor Reading: Statistical Loudness**

	Left	Right
Max.:	27,1	26,6 sone
Min.:	0	0 sone
Mean:	14,1	14,1 sone
RMS :	15,6	15,6 sone
Standard Dev.:	6,6	6,62 sone
N(5):	24,8	24,9 sone
N(10):	23,5	23,5 sone
N(50):	13,8	13,8 sone

***** Cursor Reading: Statistical Inst. Loudness**

Frequency Range: 20,3 - 13,85k Hz

	Left	Right
Max.:	29,3	29,1 sone

Min.:	0	0	sone
Mean:	14,1	14,1	sone
RMS :	15,6	15,6	sone
Standard Dev.:	6,68	6,7	sone
N(5):	24,8	24,9	sone
N(10):	23,5	23,6	sone
N(50):	13,8	13,7	sone

***** Cursor Reading: Statistical Sharpness**

	Left	Right	
Max.:	5,94	2,43	acum
Min.:	0	0	acum
Mean:	1,67	1,67	acum
Standard Dev.:	0,246	0,245	acum
N(5):	2,06	2,05	acum
N(10):	1,98	1,97	acum
N(50):	1,66	1,67	acum

***** Cursor Reading: Statistical octave**

	Left	Right	
Total:	73,4	73,4	dB
Max.:	68,9	68,9	dB
Min.:	29,2	28,7	dB
Mean:	55,7	55,7	dB
Standard Dev.:	55,5	55,6	dB
N(5):	66	66	dB
N(10):	61,8	62,2	dB
N(50):	54,9	54,6	dB

**Anexo VII: Carta de apresentação e questionário para a avaliação
da percepção das medidas de minimização de ruído**

Questionário nº _____
Data: ____/____/____



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

QUESTIONÁRIO SOBRE A AVALIAÇÃO DO AMBIENTE SONORO EM ZONAS URBANAS. INTEGRAÇÃO DE ASPECTOS QUALITATIVOS

Bom dia/Bom tarde/Boa noite. Eu sou funcionária do LNEC e estamos a desenvolver um estudo referente à percepção de modo a compreender melhor como é que as pessoas avaliam e o que pensam sobre a eficácia da implementação de medidas de minimização de ruído.

Neste sentido, foi preparado um questionário destinado a recolher as opiniões dos habitantes das zonas abrangidas pelo estudo (zona envolvente à VCI). Esta entrevista é muito importante porque é um modo de as pessoas fazerem chegar a sua opinião ao concessionário da auto-estrada.

As suas respostas são **RIGOROSAMENTE ANÓNIMAS E CONFIDENCIAIS**, e tratadas apenas pela equipa responsável pelo estudo. Não lhe pedimos que se identifique, mas apenas nos forneça informações de carácter muito geral acerca das suas condições de vida e da forma como as encara. É importante que responda com objectividade e não deixe de responder a nenhuma das perguntas. Não existem respostas correctas, simplesmente queremos a sua opinião sobre os temas abordados. Da sua colaboração e compreensão depende o sucesso deste trabalho, e desde já agradecemos o tempo que coloca à nossa disposição.

Pode dispensar um pouco do seu tempo (se perguntarem... 30 min)

Muito obrigado pela sua participação.

Treino de resposta

Para perceber melhor como deverão ser a maioria das respostas ao questionário, vou apresentar-lhe um exemplo.

Suponha a seguinte situação hipotética “ Se a localização da minha casa fosse muito próxima de uma pista de aterragem de aviões, indique em que medida o som dos aviões o/a incomoda (ou perturba), quando está em sua casa”... Poderia responder:

Extremamente (=100% de incomodo), muito (=75% de incomodo), ou moderadamente (= 50% de incomodo), se não se sentisse incomodado poderia responder absolutamente nada (= 0% de incomodo) ou ligeiramente (25% de incomodo).

A escala numérica de 11 pontos (0 – 10) foi escolhida para que possa expressar a sua opinião relativamente ao incómodo ou perturbação que sente. Se não se sente nada incomodado escolha zero, se sente extremamente incomodado escolha dez, se está entre nada e extremamente incomodado escolha um número intermédio.

Absolutamente

Nada

Extremamente

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Informação a ser preenchida pelo entrevistador:

Rua:

Andar : Lado:

Data: _____ Hora da Entrevista: _____

Tipo de casa (Prédio/Moradia/outro)_____ N° de andares _____

Orientação do prédio relativamente à VCI:

Fachada principal paralela à VCI	
Fachada principal perpendicular à VCI	

Esquema da orientação dos compartimentos (salas e quartos) relativamente à VCI:

[illegible]

Distância da residência à VCI (metros). _____

Caracterização dos elementos de fachada (janelas, paredes e estores) da fachada mais exposta ao ruído:

Fachada (parede simples, parede dupla): _____

Janelas (vidro simples, vidro duplo) : _____

Medições dos níveis sonoros::

Hora	Situação	Nível sonoro dB(A)	Compartimento
	Exterior		
	Interior		
	Exterior		
	Interior		
	Exterior		
	Interior		

A -DADOS REFERENTES Á RESIDENCIA

1 . Há quanto tempo vive nesta casa:.....anos

2 – Qual o lado da sua casa que está virado directamente para a VCI

_____Frente _____Traseiras _____Parte Lateral

3 – O seu quarto de dormir esta virado para a frente ou para as traseiras da sua casa

_____Frente _____Traseiras _____Parte Lateral

4 – Agregado Familiar

Quantas pessoas adultas (maiores de 18 anos) residem consigo?	<input type="checkbox"/>	Quantas pessoas entre os 10 e 18 anos residem consigo	<input type="checkbox"/>
Quantas crianças entre os 5 e os 10 anos residem consigo?	<input type="checkbox"/>	Quantas crianças com menos de 5 anos residem consigo	<input type="checkbox"/>

5. Agrada-lhe a casa onde habita?

Agrada-me extremamente	<input type="checkbox"/>	Agrada-me muito	<input type="checkbox"/>
Agrada-me moderadamente	<input type="checkbox"/>	Nem agrada, nem desagrada	<input type="checkbox"/>
Desagrada-me um pouco	<input type="checkbox"/>	Desagrada-me muito	<input type="checkbox"/>
Desagrada-me extremamente	<input type="checkbox"/>		

6 . A sua casa é:

Propriedade pessoal	<input type="checkbox"/>	Alugada/ arrendada	<input type="checkbox"/>
Sub-alugada	<input type="checkbox"/>	Cedida	<input type="checkbox"/>
Outra situação	<input type="checkbox"/>		

7 . Por causa do trafego da VCI, a sua casa é alvo de:

a)

Sujidade	<input type="checkbox"/>	Fendas na estrutura da casa	<input type="checkbox"/>
Danos no mobiliario	<input type="checkbox"/>	Humidade nas paredes	<input type="checkbox"/>
Outros quais?	<input type="checkbox"/>		

b)

Esses problemas foram resolvidos? Se sim, por quem	
---	--

8 – Actualmente, deseja mudar de casa?

Sim, porquê?.....
.....

Não, porquê?.....

B - DADOS REFERENTES À PERCEPÇÃO SONORA

9 - Pensando nos ultimos doze meses, e quando está aqui em sua casa, quanto é que o ruído proveniente do trafego rodoviario da VCI, o incomoda ou perturba

	Absolutamente nada	Ligeiramente	Moderadamente	Muito	Extremamente
Durante o dia					
Durante a noite					

10 - Expresse agora o incómodo ou perturbação que sente relativamente ao ruído de tráfego rodoviário, considerando uma escala numérica de 11 pontos (0 – 10). Pensando nos ultimos doze meses, e quando está aqui em sua casa, quanto é que o ruído proveniente do trafego rodoviario, o incomoda ou perturba

Durante o dia:

Absolutamente

Nada

Extremamente

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Durante a noite:

Absolutamente

Nada

Extremamente

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

11 – Do quadro seguinte, escolha **TRÊS** tipos de veiculos cujo ruído proveniente da sua circulação na VCI, considera mais incomodativo (assinale de 1 a 3, sendo 1 = mais incomodativo e 3 = menos incomodativo)

<input type="checkbox"/> Ruído de veículos ligeiros <input type="checkbox"/> Ruído de veículos pesados <input type="checkbox"/> Ruído de ciclomoteres <input type="checkbox"/> Ruído de carrinhas de transporte de mercadorias	<input type="checkbox"/> Ruído de Motociclos <input type="checkbox"/> Outro(s) tipo(s) de ruído(p.f especifique qual(s):_____
---	--

12 – Do quadro seguinte, escolha **TRÊS** tipos de situações cujo ruído proveniente da sua circulação na VCI, considera mais incomodativo (assinale de 1 a 3, sendo 1 = mais incomodativo e 3 = menos incomodativo)

<input type="checkbox"/> Veículos a travar <input type="checkbox"/> Sirenes de veículos <input type="checkbox"/> Motociclos a acelerar durante a noite <input type="checkbox"/> Veículos em aceleração <input type="checkbox"/> Alarmes de veiculos	<input type="checkbox"/> Veículos em marcha lenta <input type="checkbox"/> Outro(s) tipo(s) de situação(especifique qual(s):_____
---	--

13 - Considere cada uma das afirmações das seguintes, pela ordem indicada. Tente imaginar-se em cada uma das situações e responda espontaneamente, sem demorar muito tempo a cada uma das questões, indicando em que medida concorda com a afirmação em avaliação

1. Não me importava de viver numa rua ruidosa, se a casa onde morasse fosse boa

Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

2. Estou mais consciente sobre o ruído do que costumava ser

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

3. Sou facilmente acordado/a com o ruído

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

4. Se quando estou a estudar existe ruído, tento fechar a porta ou a janela ou então mudo de lugar

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

5. Fico incomodado quando os meus vizinhos são ruidosos

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

6. Habito-me sem dificuldade a qualquer tipo de ruído

Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

7. Muitas vezes o ruído enerva-me e fico irritado

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

8. Não me incomoda ouvir os sons do dia-a-dia devido aos meus vizinhos (água a correr, passos, etc.)

Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

9. Quando quero estar sozinho, perturba-me o ruído proveniente do exterior

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

10. Tenho facilidade em concentrar-me, independentemente do que ocorre em meu redor

Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

11. Existe alturas em que necessito de silêncio absoluto

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

12. Os motociclos deviam ter silenciadores maiores

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

13. Fico furioso/a com as pessoas que fazem ruídos que me impedem de adormecer ou trabalhar

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

14. Não me importava de viver numa casa por paredes pouco espessas

Concordo	1	2	3	4	5	6	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

15. Sou sensível ao ruído

Concordo	6	5	4	3	2	1	Discordo
----------	---	---	---	---	---	---	----------

C - DADOS REFERENTES À ATITUDES E EFEITOS DO RUÍDO

14. Em que actividades o ruído do tráfego rodoviário o incomoda ou perturba, a si, quando esta em sua casa?

Interfere com a conversação	<input type="checkbox"/>	Ouvir televisão, rádio, etc	<input type="checkbox"/>
Interfere com a concentração durante o estudo/trabalho	<input type="checkbox"/>	Causa fadiga e dores de cabeça	<input type="checkbox"/>
Provoca dificuldades em descansar/adormecer	<input type="checkbox"/>	Não interfere	<input type="checkbox"/>
Outra (especificar)	<input type="checkbox"/>		

15. Tomou alguma atitude face ao ruído proveniente do tráfego rodoviário da VCI?

Reclamação à entidade estatal (Câmara, APA, EP)	<input type="checkbox"/>	Adesão a uma campanha de moradores /petição	<input type="checkbox"/>
Introdução de vidros duplos/triplos	<input type="checkbox"/>	Procura de informação sobre medidas de redução de ruído	<input type="checkbox"/>
Reclamação à polícia	<input type="checkbox"/>	Utilização de protectores auditivos/ outro método para adormecer	<input type="checkbox"/>
Outra (especificar);	<input type="checkbox"/>	Não tomou nenhuma atitude	

16. Considera que a atitude que tomou teve um algum resultado positivo?

Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Não responde	<input type="checkbox"/>		
Se sim, indique qual o resultado:			

D – MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO DE RUÍDO

17. Teve conhecimento/informação sobre o tipo de medidas de redução de ruído que são perconizadas para o troço da VCI próximo da sua residência?

Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Se sim, qual a entidade que lhe forneceu essa informação?			

18 - Considere cada uma das afirmações seguintes, pela ordem indicada, sem omitir nenhuma resposta. Tente imaginar-se em cada uma das situações e responda espontaneamente, sem demorar muito tempo a cada uma das questões, indicando em que medida concorda com a afirmação em avaliação

	Concordo Totalmente	Concordo	Não Concordo nem Discordo	Discordo	Discordo Totalmente
A construção de uma barreira acústica próximo da minha residência vai melhorar a minha qualidade de vida					
A construção da barreira acústica vai eliminar o ruído de tráfego rodoviário na minha residência					
As barreiras acústicas próximo das casas deviam ter painéis transparentes					
Em vez da construção de uma barreira acústica preferia que o pavimento da VCI fosse alterado					
Preferia que fosse tomadas medidas relativamente à velocidade de circulação dos veículos					

19 – Indique a principal vantagem (só uma) que espera com a construção de barreiras ao longo da VCI

<input type="checkbox"/> Diminuição do ruído <input type="checkbox"/> Garantia de privacidade relativamente à VCI <input type="checkbox"/> Segurança relativamente a acidentes na VCI <input type="checkbox"/> Obstrução do contacto visual com a VCI <input type="checkbox"/> Melhoria da paisagem para os residentes	<input type="checkbox"/> Melhoria da paisagem para os automobilistas <input type="checkbox"/> Sem vantagem particular <input type="checkbox"/> Outra(p.f especifique qual(s): _____
--	---

20 - Percepção do desempenho de barreiras acústicas

Este teste consiste em três partes, na primeira parte é-lhe apresentado um conjunto de 4 fotografias de barreiras acústicas, e ser-lhe-á perguntada a sua opinião sobre qual das barreiras acústicas atenua melhor o ruído, devendo efectuar uma classificação desde a melhor (4), até à pior (1):

Parte 1

	Barreira Metal	Barreira Composta	Barreira Acrílico	Barreira Verde
(4) Mais eficaz na atenuação do ruído- (1) menos eficaz				

Parte 2

Classifique, segundo a sua opinião, as barreiras acústicas relativamente ao grau de agradabilidade estética, desde a mais agradável (4) até à mais desagradável (1). Para o ajudar a decidir imagine que vive próximo da VCI, que tipo de barreira gostaria mais de ver da sua casa?

(4) Mais agradável - (1) menos	Barreira Metal	Barreira Composta	Barreira Acrílico	Barreira Verde

agradavel				

Parte 3

Vai ouvir de seguida com conjunto de registos audio que lhe serão apresentados por meio de auscultadores, no computador, sendo-lhe solicitado a respectiva ordenação . Para o efeito será efectuada em primeiro lugar uma pequena demonstração.

DADOS PESSOAIS

21. Sexo:

Masculino

☐

Feminino

☐

22. Grupo etário (de acordo com a classificação dos grupos etários do INE) :

1. Entre 15 e 19 anos

☐

7. Entre 45 e 49 anos

☐

2. Entre 20 e 24 anos

☐

8. Entre 50 e 54 anos

☐

3. Entre 25 e 29 anos

☐

9. Entre 55 e 59 anos

☐

4. Entre 30 e 34 anos

☐

10. Entre 60 e 64 anos

☐

5. Entre 35 e 39 anos

☐

11. Entre 65 e 69 anos

☐

6. Entre 40 e 44 anos

☐

12. Entre 70 e 74 anos

☐

13. Mais de 75 anos

☐

23. Qual o seu nível de escolaridade?

1. Sem instrução escolar

☐

5. Curso Politecnico

☐

2. Instrução primária

☐

6. Curso Superior

☐

3. Instrução secundária

☐

7. Post-graduação (mestrado)

☐

4. Curso Técnico/Profissional

☐

8. Doutoramento

☐

9. Outro (especificar)

☐

24. Qual a sua ocupação actual?

Estudante ☐

Sem ocupação ☐

Ocupação fixa ☐

☐

Ocupação temporária ☐

25. Em media, qual o numero de horas em que está em sua casa:

Dias de semana: _____ Manhã _____ Tarde _____ Noite
Fins de semana: _____ Manhã _____ Tarde _____ Noite

26. Indique se sofre de algum destes problemas de saúde?

Insonias	<input type="checkbox"/>	Dificuldades auditivas	<input type="checkbox"/>
Doença cardíaca	<input type="checkbox"/>	Doença no sistema circulatório/ Problemas de tensão arterial	<input type="checkbox"/>
Outro (especificar)	<input type="checkbox"/>		

Se por acaso deseja fazer algum comentário sobre este estudo, utilize as linhas abaixo

OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO

**Anexo VIII: Percepção dos residentes relativamente à colocação de
topos difractores em barreiras acústicas**

Descrição do troço objecto de estudo:

O troço objecto deste estudo, desenvolve-se numa extensão total de aproximadamente 8,3 km, iniciando-se ao actual km 275+500 da A1, logo a seguir ao designado Nó da Feira e terminando um pouco antes do Nó com o IC24 (km 283+806). Toda a área envolvente ao projecto pertence ao concelho de Sta. Maria da Feira, interceptando as freguesias de Espargo, Feira, S. João de Ver, Rio Meão, Sta. Maria de Lamas, Paços de Brandão, S. Paio de Oleiros, Mozelos e Nogueira de Regedoura.

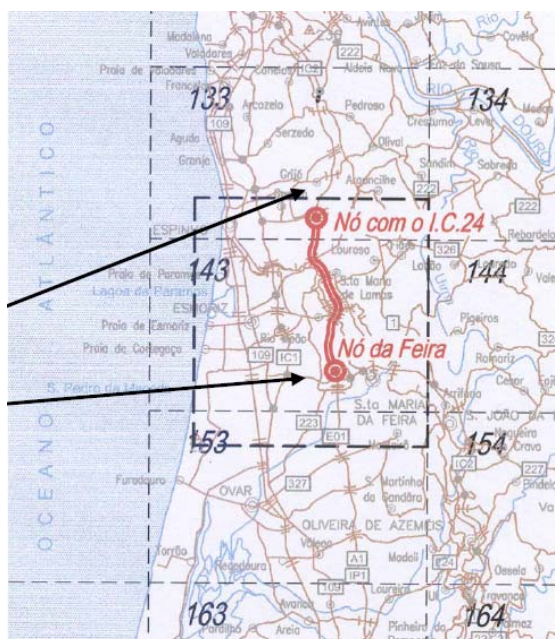


Figura VI-1 Localização do troço da A1 em análise

Guião da entrevista aos moradores

- Localização da casa relativamente à A1;
 - Localização dos quartos relativamente à A1;
 - Medições no interior /exterior da casa;
 - Gostaria que me desse a sua opinião:
 - Contentamento com a sua residência e estrutura da casa;
 - Condições sonoras dentro da casa;
 - Orientação espacial dos compartimentos na sua residência tendo em conta a influência do ruído;
 - Condições sonoras no exterior da sua residência
- Desde a construção da barreira sonora, sente alguma diferença no ruído, no interior ou no exterior da sua residência

- quais são as funções mais importantes da barreira acústica que foi construída próximo da sua casa

(Atenuação do som dos automóveis)

(Atenuação do som dos motociclos)

(Atenuação do som dos veículos pesados)

- Quantos anos vive nesta casa

- Idade/sexo/escolaridade

- tem algum tipo de dificuldades auditivas

Barreiras visitadas:

Data da visita: 26 de Novembro de 2009

1ª visita

Barreira acústica identificada por B16 (identificação constante no estudo A1- Lisboa/Porto – sublanço Nó de feira/nó do IC 24, efectuado pela empresa Acústica XXÍ, em Setembro de 2009, para a Conplage). Zona de Mocelos (aproximadamente a 4 km a Sul da portagem de Carvalhos), próximo de uma zona industrial, do lado oposto da via. Não foi possível gravar ficheiros áudio pois por detrás da barreira existia a combinação de ruído de tráfego rodoviário e ruído industrial.



Figura VI-2 Fotografia da barreira referenciada por B16

2ª visita

Início da barreira (Lado a Sul, próximo do PM0, Barreira acústica identificada por B12 do estudo referenciado anteriormente), na localidade de Santa Maria de Lamas





Figura VI-3 Fotografias da barreira referenciada por B12 (início da barreira, 2 fotografias no topo da página, final da barreira, 3 fotografias em baixo)

Caracterização do local

A visita decorreu no período da manhã do dia 26/11/2009, entre as 11 e 11.30. Durante a visita a circulação do tráfego processava-se de um modo contínuo, no entanto e tendo em conta o pouco volume de tráfego, era predominante o ruído proveniente de sons com origem na natureza. Os níveis sonoros por detrás da barreira eram da ordem do 50-55 dB(A).

Os aspectos mais importantes de uma entrevista de rua (entrevista aberta) a uma moradora (que habita a residência localizada na foto do meio, do ultimo bloco de fotografias da barreira B12), resumiram-se nos seguintes pontos:

- O principal problema apontado reside no sombreamento para a respectiva residência, provocado pela barreira acústica. A inquirida salientou o facto, de com a instalação da barreira se ter visto privada da luz do sol no estendal.
- O principal problema não é o ruído, pois refere-se à habituação aos níveis sonoros existentes devido à circulação do tráfego rodoviário neste troço da A1, mas sim a altura da barreira. De entre o tipo de veículos que circulam neste troço são as emissões sonoras provenientes de veículos pesados as mais incomodativas. Durante a noite, o ruído devido à circulação de veículos neste troço da A1 não é incomodativo, devido ao seu baixo volume.
- Aponta o aspecto relacionado com a insegurança devido à interposição da barreira que obstrui a visão da auto-estrada, impedindo a prestação de uma acção de ajuda a qualquer acidente que aí ocorra.
- Relativamente à diferença entre os níveis sonoros antes e depois da colocação dos topos difractores na barreira, não refere a existência de diferenças nos níveis sonoros apercebidos.
- Salienta a importância de que próximo das residências as barreiras devam ser constituídas por painéis transparentes.

Moradora : indivíduo do sexo feminino, 62 anos, reformada, indicando que não tinha problemas de audição

3ª visita

Local A

Início da barreira (Lado a Sul, próximo do PM01, barreira acústica identificada por B11 do estudo referenciado anteriormente), implantada no lado oposto à localidade de Santa Maria de Lamas. A visita decorreu entre as 11.42 e o 12.15 da manhã do dia 26 de Novembro de 2010. O volume do tráfego rodoviário que circulava durante o referido período era descontinuo, e os níveis sonoros por detrás da barreira variavam entre os 56 e 58 dB(A).



Figura VI-4 Fotografias da barreira referenciada por B11



Figura VI-5 Fotografias da barreira referenciada por B11 (final da barreira)

Os aspectos mais importantes de uma entrevista de rua (entrevista aberta) a um morador (que habita a residência localizada na foto da direita do segundo bloco de fotografias da barreira B11), resumam-se nos seguintes pontos:

- O referido indivíduo apresentou uma reclamação devido ao ruído do tráfego rodoviário, que o incomodava principalmente durante a noite. Saliente-se o facto de os quartos de dormir da respectiva residência se encontrarem virados para o lado da auto-estrada. Com a implementação da barreira os níveis de ruído sofreram um decréscimo da ordem dos 50-60%, embora ainda continuem perceptíveis as emissões sonoras devido as buzinas dos veículos, que emergem significativamente, especialmente durante o período nocturno.
- Relativamente à diferença entre os níveis sonoros antes e depois da colocação dos topos difractores na barreira, não refere a existência de diferenças nos níveis sonoros apercebidos. No entanto, o indivíduo referiu que os topos difractores não estavam colocados em toda a extensão da barreira, mas somente em algumas partes.
- Salienta a importância de que próximo das residências as barreiras deviam ser constituídas por painéis transparentes.

Morador : indivíduo do sexo masculino, 60 anos, que habitava a residência cor de rosa da fotografia referenciada, reformado, e sem problemas auditivos.

4ª visita

Início da barreira (Lado a Sul, próximo do PM02, barreira acústica identificada por B7 do estudo referenciado anteriormente), implantada na localidade de Paços Brandão, próxima da A1. A visita decorreu entre as 13.00 e as 13.30 do dia 26 de Novembro de 2010. O volume do tráfego rodoviário que circulava durante o referido período era descontínuo, e os níveis sonoros por detrás da barreira variavam entre os 50 e 53 dB(A).



Figura VI-6 Fotografias da barreira referenciada por B7

Os aspectos mais importantes de uma entrevista (aberta) efectuada a uma residente que habita a residência apresentada na fotografia em cima, resumem-se nos seguintes pontos

- A introdução da barreira acústica resolveu parte do problema devido ao ruído de tráfego rodoviário. No entanto, o problema devido aos níveis sonoros ocasionados da passagem de veículos pesados, especialmente durante o período nocturno ainda não foi resolvido.
- Salienta a melhoria dos níveis sonoros, especialmente no exterior.
- Refere que o principal problema com a instalação da barreira está relacionado com a intrusão das vistas provocada pela inserção da barreira. Este problema é especialmente agravado tendo em conta o grau de isolamento onde se encontra a residência. Efectivamente esta encontra-se próxima de uma estrada local, cuja circulação de veículos é muito escassa. Chega a falar de problemas psicológicos de um vizinha, que desde a implantação da barreira, já não abre a janela e está metida em casa (pois da sua janela, não vê nada). Utiliza a frase “minimizaram o ruído e ficamos metida num buraco, não existe qualidade de vida”
- Relativamente à diferença entre os níveis sonoros antes e depois da colocação dos topos difractores na barreira, refere uma melhoria significativa nos níveis sonoros apercebidos.
- Relativamente a uma opção entre redução do ruído, e possibilidade de ter visibilidade da auto-estrada, optam pela última, preferindo a colocação de barreiras com painéis transparentes, mesmo que estejam associados níveis sonoros mais elevados
- Salienta a importância de que próximo das residências as barreiras devam ser constituídas por painéis transparentes.
- Aponta o aspecto relacionado com a insegurança devido à interposição da barreira que obstrui a visão da auto-estrada, impedindo a prestação de uma acção de ajuda a qualquer acidente que aí ocorra. Problema este que muitas vezes está associado ao ruído emitido pelo rebentamento dos pneus de veículos pesados, que escutam, mas não têm possibilidade de saber o que se está a passar.

Morador: indivíduo do sexo feminino de 65 anos que habita a residência cor de rosa da fotografia referenciada, reformado, e sem problemas auditivos.

5ª visita

Barreira acústica identificada por B2 do estudo referenciado anteriormente), implantada próximo da localidade de Rio Meão. A visita decorreu entre as 15.20 e as 16.00 do dia 26 de Novembro de 2010. O volume do tráfego rodoviário que circulava durante o referido período era descontínuo, e os níveis sonoros por detrás da barreira variavam entre os 57 e 58 dB(A).



Figura VI-7 Fotografias da barreira referenciada por B2

Tendo em conta a especificidade da barreira, com painéis transparentes e topo difractor, para além da proximidade de habitações (como se mostra na fotografia em baixo), considera-se muito interessante proceder a uma entrevista com os respectivos residentes. Durante esta visita não foi possível esta entrevista em virtude da sua ausência.



Figura VI-8 Casa protegida pela barreira B2

Anexo IX: Valores modais

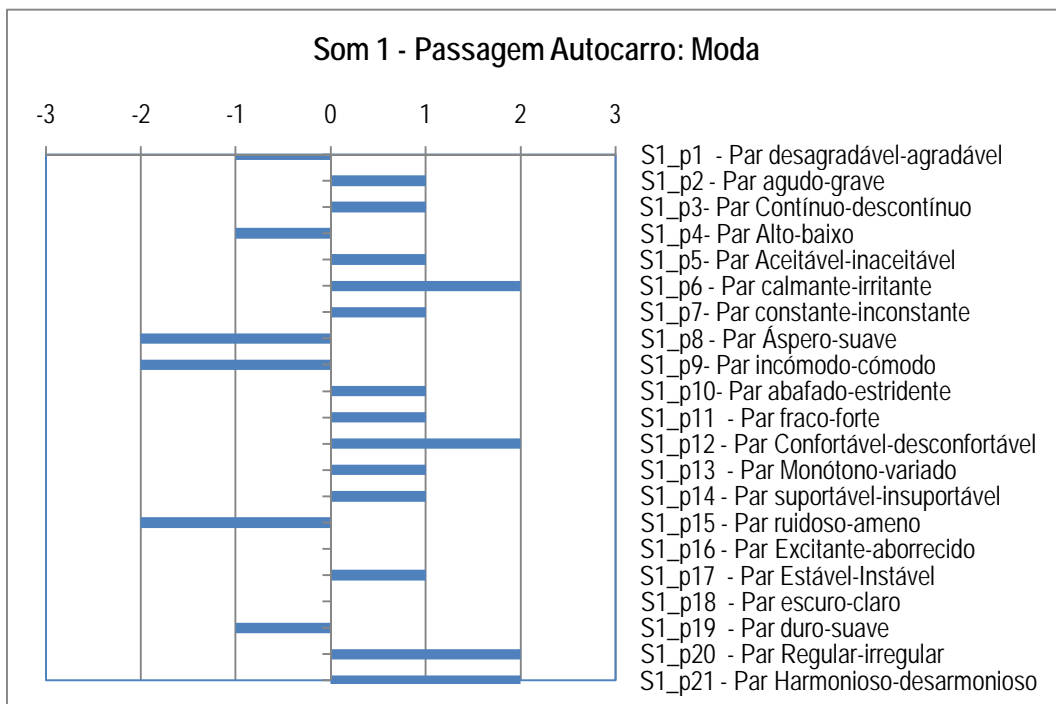


Figura 9.1 – Valores modais para o Som 1 do diferencial semântico

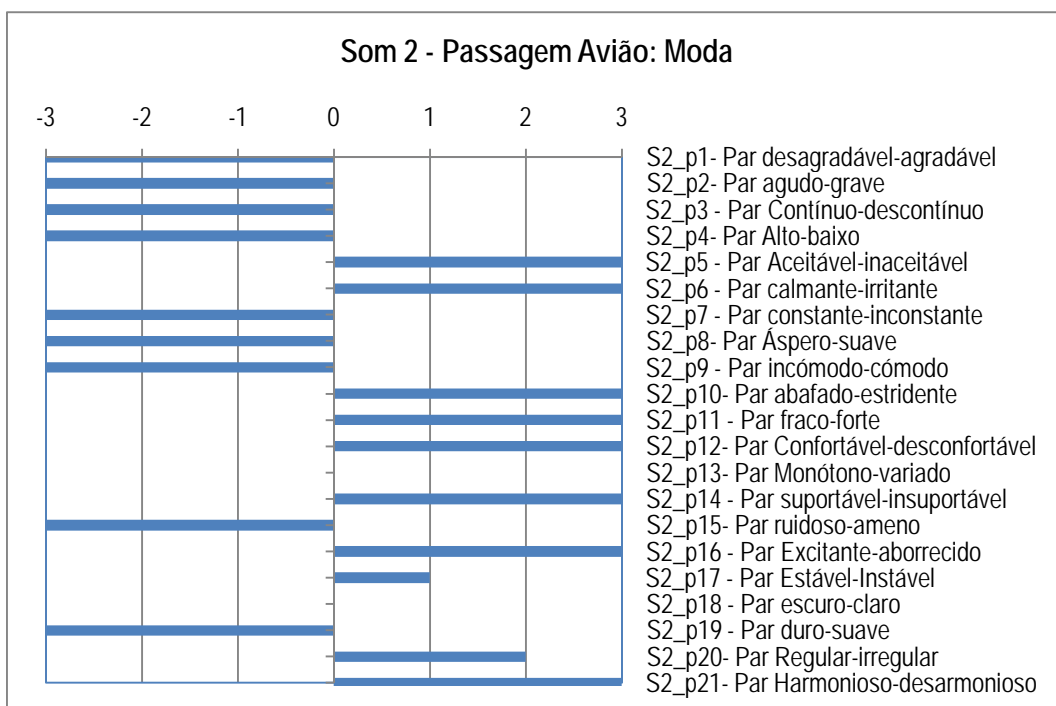


Figura 9.2 – Valores modais para o Som 2 do diferencial semântico

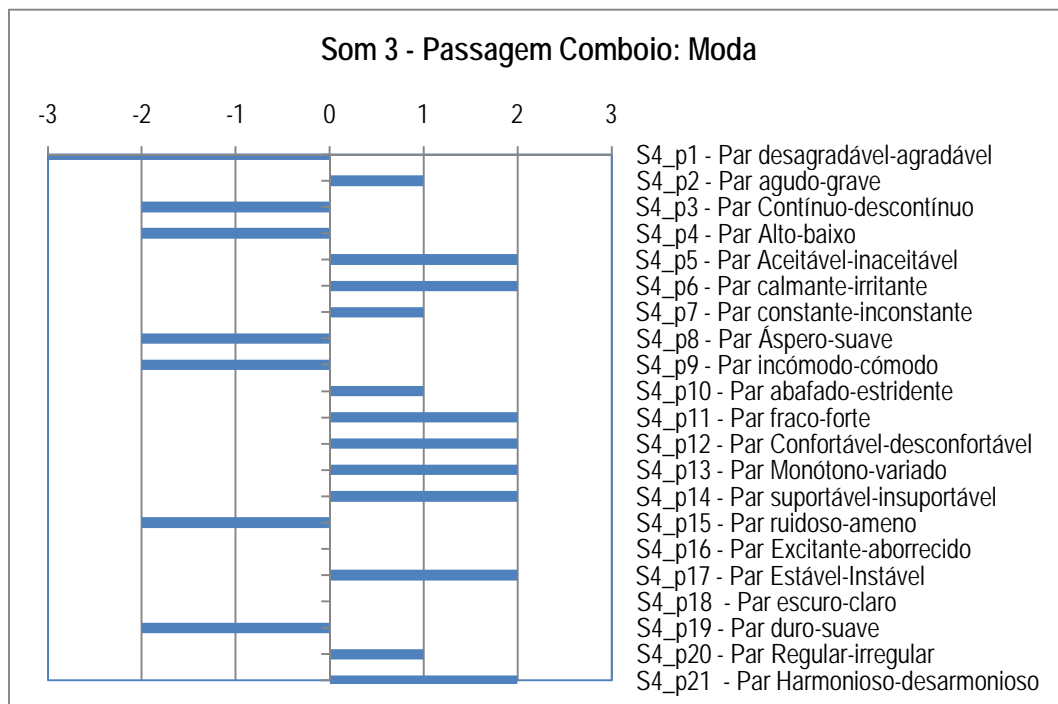


Figura 9.3– Valores modais para o Som 3 do diferencial semântico

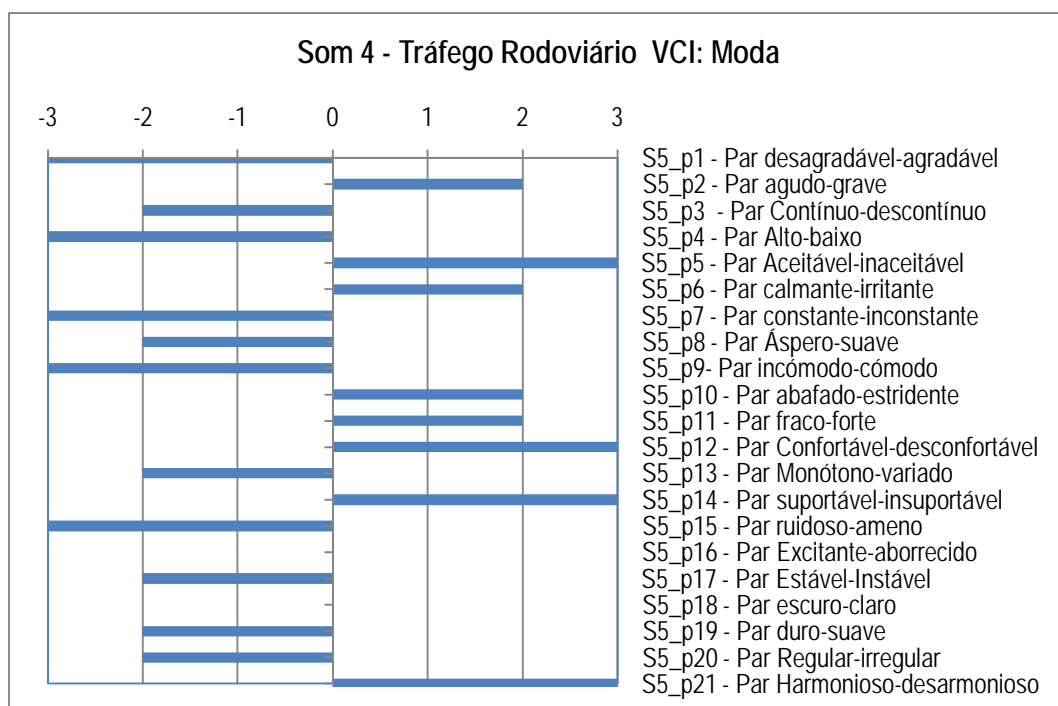


Figura 9.4 – Valores modais para o Som 4 do diferencial semântico

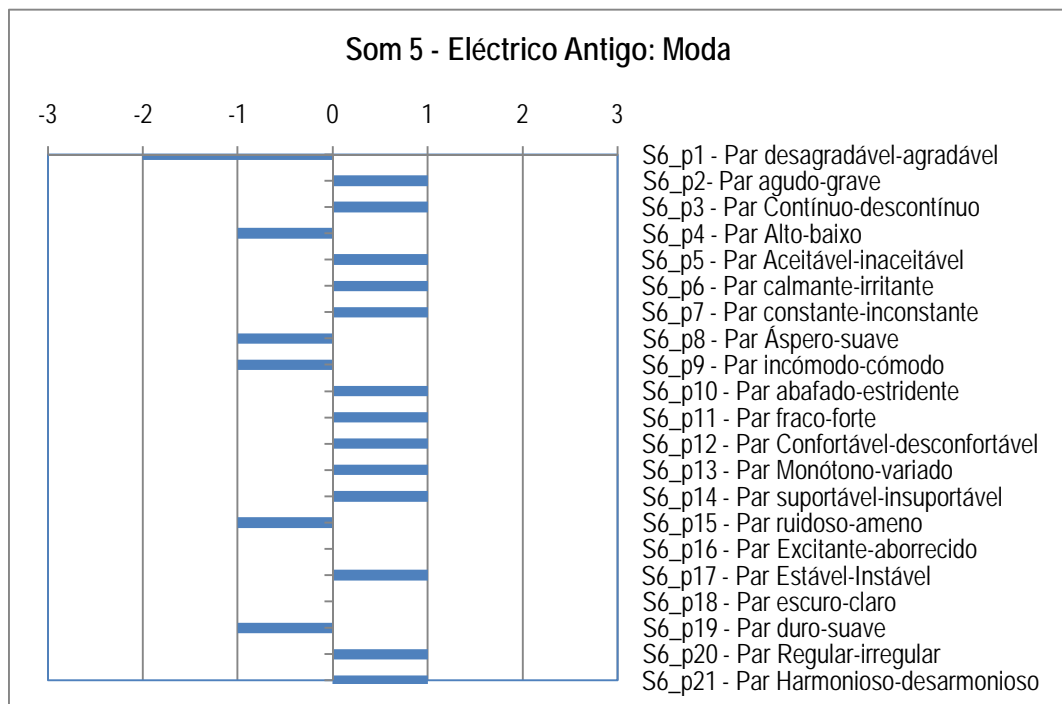


Figura 9.5 – Valores modais para o Som 5 do diferencial semântico

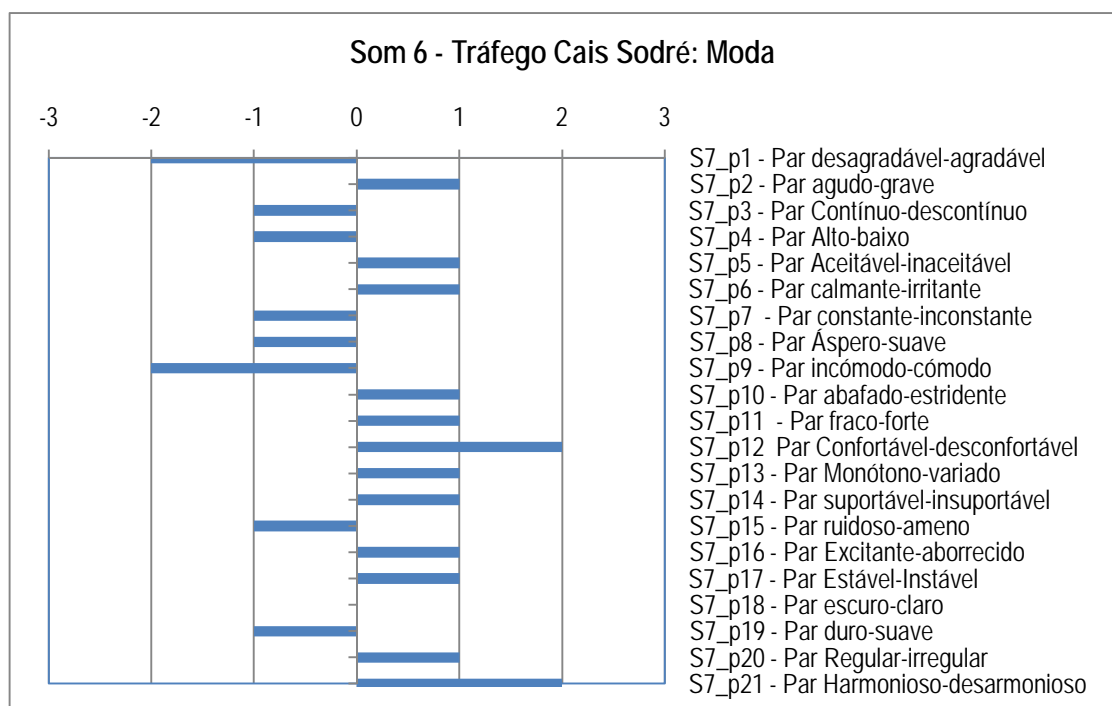


Figura 9.6– Valores modais para o Som 6 do diferencial semântico

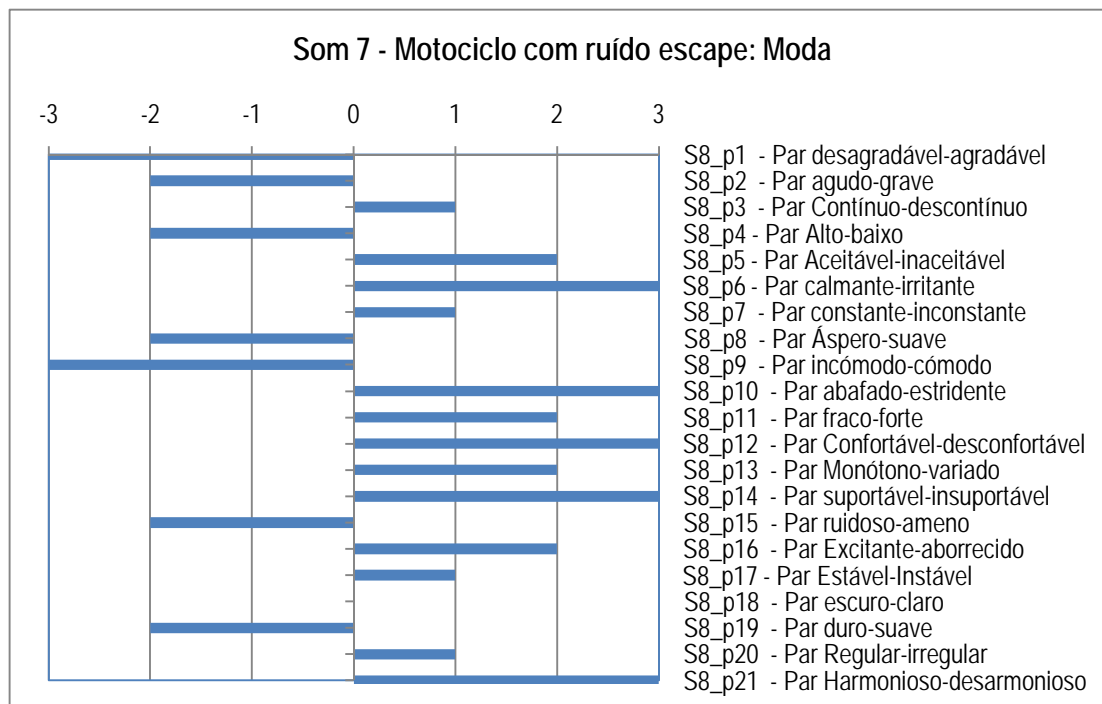


Figura 9.7 – Valores modais para o Som 7 do diferencial semântico

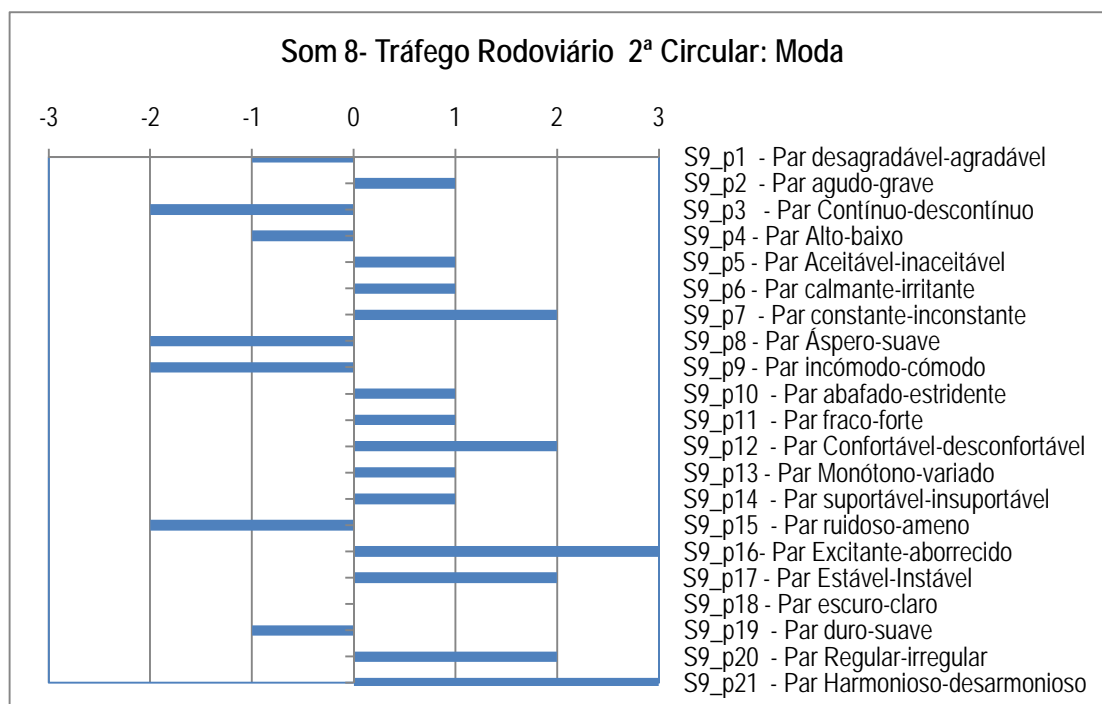


Figura 9.8 – Valores modais para o Som 8 do diferencial semântico

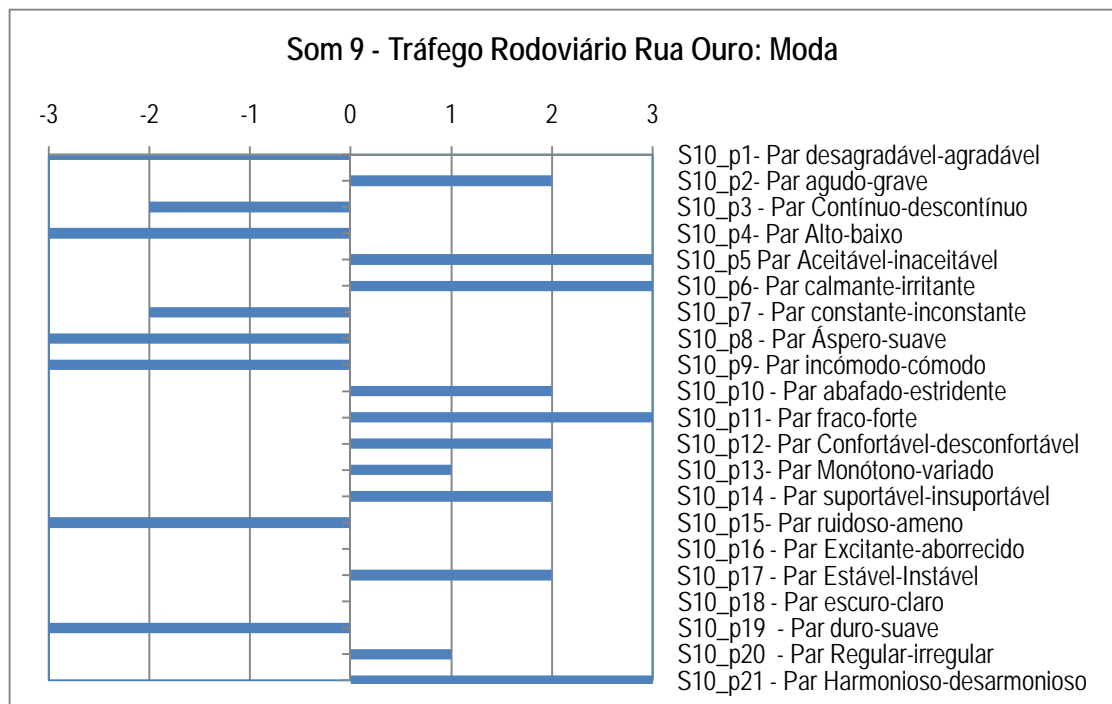


Figura 9.9– Valores modais para o Som 9 do diferencial semântico

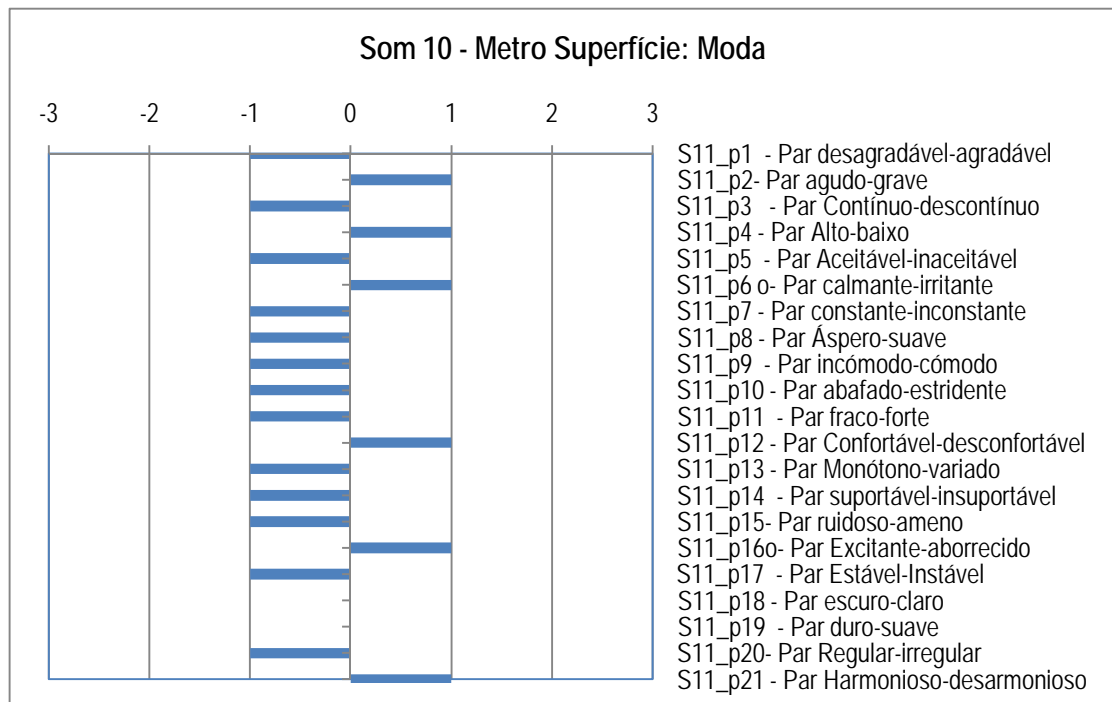


Figura 9.10 – Valores modais para o Som 10 do diferencial semântico

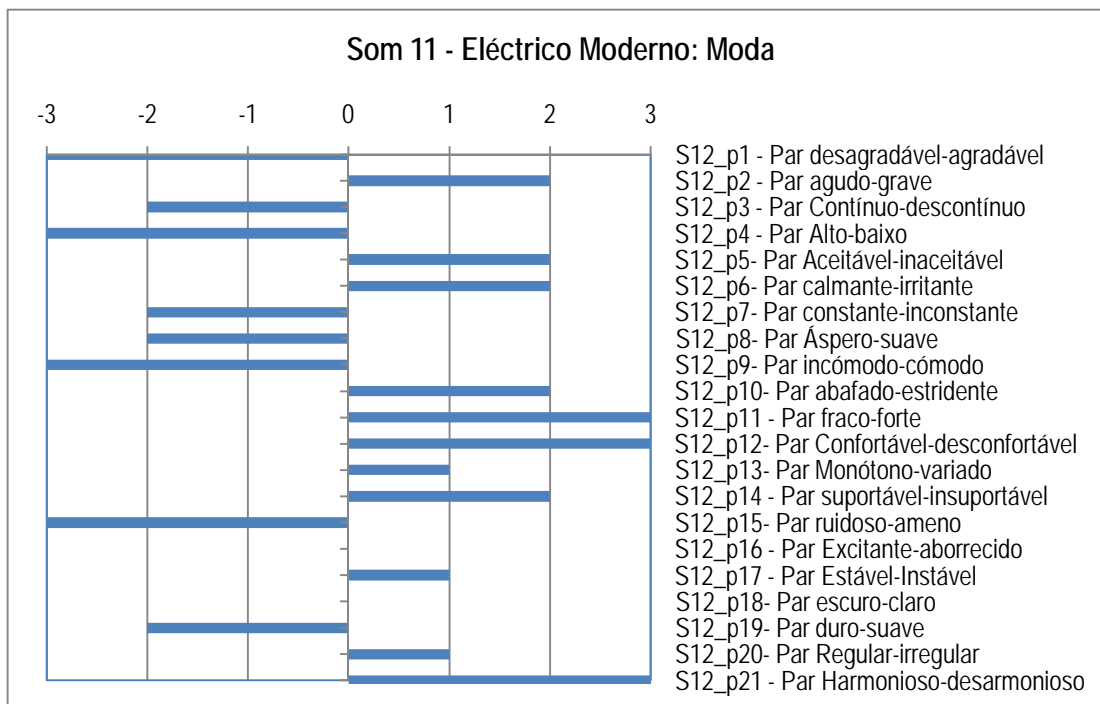


Figura 9.11 – Valores modais para o Som 11 do diferencial semântico

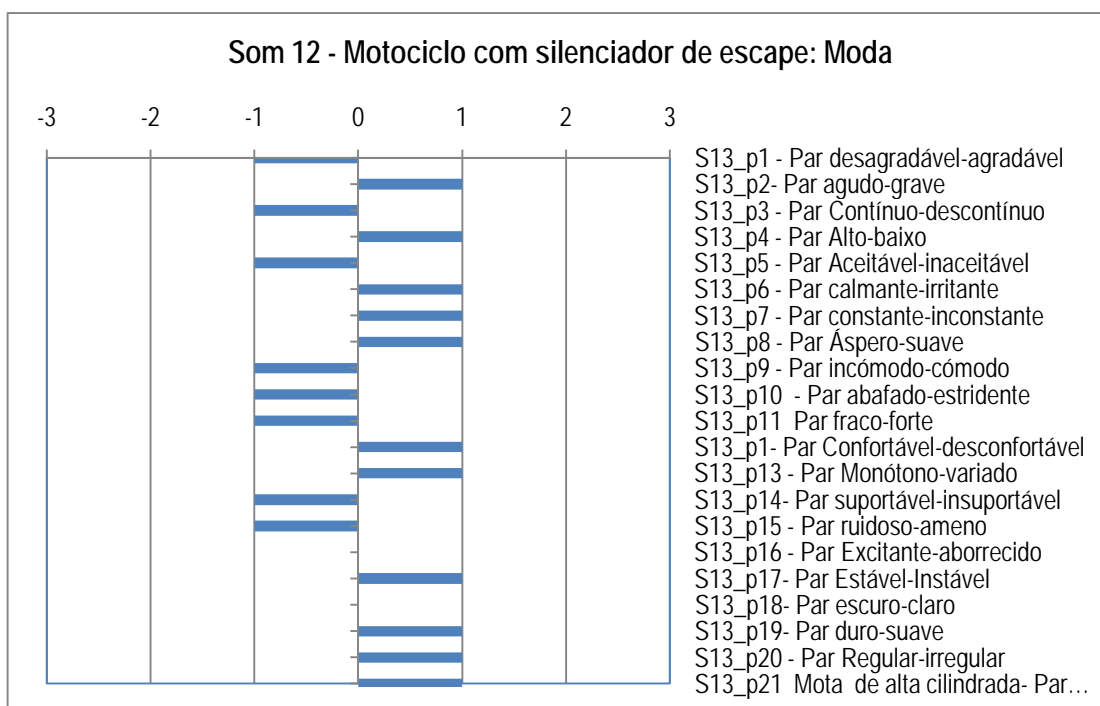


Figura 9.12– Valores modais para o Som 12 do diferencial semântico

Altura de um som – Atributo da sensação auditiva em termos do qual um som se classifica como mais grave ou mais agudo do que outro.

Banda crítica – Maior largura de banda de frequências dentro da qual, a intensidade auditiva numa banda de ruído aleatório de distribuição contínua e de nível de pressão sonora constante, é independente da largura de banda.

Biaural – Termo que qualifica uma excitação ou uma sensação auditiva relativa aos dois ouvidos.

Batimento – Interferência de ondas cujas frequências são muito próximas e que se caracteriza pela variação periódica da amplitude de oscilação de partículas.

Campo audível mínimo (MAF) – Para uma dada frequência, o nível de pressão sonora de um som puro ou de uma banda estreita de ruído, que corresponde ao valor modal do limiar de audição biaural de um conjunto de indivíduos otologicamente normais, com idades compreendidas entre 18 e 30 anos.

Coping – O conceito de coping tem sido descrito como o conjunto das estratégias utilizadas pelas pessoas para adoptarem-se a circunstâncias adversas ou stressantes. O modelo de Folkman e Lazarus envolve quatro conceitos principais: (a) coping é um processo ou uma interacção que se dá entre o indivíduo e o ambiente; (b) tem como objectivo a administração da situação irritante, ao invés de controlo ou domínio da mesma; (c) os processos de coping pressupõem a noção de avaliação, ou seja, como o fenómeno é percebido, interpretado e cognitivamente representado na mente do indivíduo; e (d) o processo de coping constitui-se em uma mobilização de esforço, através da qual os indivíduos irão empreender esforços cognitivos e comportamentais para administrar (reduzir, minimizar ou tolerar) os problemas internos ou externos que surgem da sua interacção com o ambiente.

Força de flutuação - é o atributo da sensação auditiva associado com a modulação em amplitude e/ou frequência, na zona das baixas frequências (usualmente inferiores a 15 Hz), e depende de parâmetros como a frequência de modulação, a profundidade de modulação, a frequência central e o desvio em frequência.

Limiar de audição – Nível de um som, para o qual um indivíduo dá 50% de respostas correctas de detecção em ensaios repetidos, e em condições especificadas (como por exemplo: se a audição é relativa a um só ouvido, ou se pelo contrário, os ensaios são relativos a audição biaural; se os ensaios se processam em campo livre ou se são referentes a valores obtidos com auscultadores).

Intensidade sonora (num ponto de um campo sonoro) – Grandeza vectorial, cujo módulo iguala a densidade de energia sonora nesse ponto e cuja direcção e sentido são os da velocidade de propagação.

Intervalo de tempo de referência - Intervalo de tempo para o qual é referido o nível de avaliação do som. O intervalo de tempo de referência pode ser especificado por normas nacionais ou internacionais ou pelas autoridades locais para abranger as actividades humanas típicas e as variações dos modos de funcionamento das fontes sonoras. Os intervalos de tempo de referência, podem ser, por exemplo, parte de um dia, o dia completo, ou a semana completa. Alguns países podem definir intervalos de tempo de referência ainda mais longos.

Intervalo de tempo de longa duração - Intervalo de tempo especificado durante o qual o som de uma série de intervalos de tempo de referência, é ponderado ou avaliado. O intervalo de longa duração é determinado com a finalidade de descrever o ruído ambiente como é usualmente designado pelas autoridades responsáveis. Para avaliações de longa duração e planeamento de uso do solo, devem ser utilizados intervalos de longa duração que representam uma fracção significativa de um ano (por exemplo, 3 meses, 6 meses, 1 ano).

Mascaramento de um som por outro – Elevação do limiar de audição de um som devido à presença de outro.

1000 mel (referência de altura de um som) – Altura de um som puro de 1000 Hz e com nível de pressão sonora de 40 dB.

Mastóide Artificial – Dispositivo que simula a impedância mecânica apresentada pela da apófise do mastóide humano médio, permitindo a calibração de vibradores ósseos (CEI 50 (801)).

Monoaural – Termo que significa uma excitação ou uma sensação auditiva relativa a um só ouvido.

Nível da sensação de intensidade auditiva de um som, expresso em fone – Valor numericamente igual ao nível de pressão sonora, em decibel, de um som puro com a frequência de 1000 Hz que, para o auditor normal, tem a mesma intensidade auditiva que o som considerado

Nível de pressão sonora, em dB – Produto por vinte do logaritmo decimal da razão entre o valor eficaz da pressão sonora e o valor de referência de $20 \mu\text{Pa}$.

Nível percentil, N - nível de pressão sonora ponderado no tempo e ponderado na frequência que é excedido em N % do intervalo de tempo considerado . Exemplo: $L_{AF95,1h}$ é o nível de pressão sonora, obtido com a malha de ponderação na frequência A, e ponderação temporal Fast, que é excedido durante 95% de 1 hora.

Nível de exposição sonora – dez vezes o logaritmo de base 10 da razão entre a exposição sonora, E, e a exposição sonora de referência, E_0 , sendo a exposição sonora o integral no tempo do

quadrado da pressão sonora instantânea, ponderada em frequência, durante um determinado intervalo de tempo, ou acontecimento discreto.

Nível sonoro ponderado A ,B ,C ,em dB(A), dB (B) ou dB (C) – Valor do nível de pressão sonora ponderado de acordo com as curvas de resposta de filtros normalizados A, B ou C, expresso em decibel.

Nível sonoro contínuo equivalente de um ruído, num intervalo de tempo – Nível sonoro de um ruído uniforme a que corresponde a mesma energia acústica que o ruído referido, naquele intervalo de tempo.

Ruído – Som sem interesse ou desagradável para o auditor.

Sensação de intensidade auditiva – atributo da sensação auditiva em termos do qual um som se classifica como mais forte ou mais fraco do que outro.

Som – Estímulo mecânico capaz de provocar sensação auditiva.

Som total – Compreende totalmente o som numa dada situação e num dado instante, usualmente composto pelo som de muitas fontes, próximas ou distantes.

Som específico – Componente do som total que pode ser especificamente identificada e que está associada com uma fonte específica.

Som residual – Restante som total para uma dada posição e numa dada situação quando são suprimidos os sons específicos a serem analisados.

Sone (referência de intensidade auditiva) – Intensidade auditiva, para o auditor normal, de um som de 1000 Hz, com o nível de pressão sonora de 40 dB, relativamente à pressão sonora de 20 μ Pa.

Timbre de um som – Atributo da sensação auditiva em termos do qual um auditor distingue dois sons da mesma intensidade auditiva e da mesma altura, produzidos por fontes diferentes.

